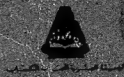


٢

الألف كتاب (الثاني)

تأليف: ي. رادونسكايا  
و م. جابوتنسكي  
ترجمة: المهندس حسين أحمد عيسى





الإلكترونيات والحياة الحديثة



# الإلكترونيات والحياة الحديثة

تأليف

ى . رادونسكيا م . جابوتنسكى

ترجمة

حسين أحمد عيسى



الهيئة العامة للطباعة والنشر

١٩٨٦

الاخراج الفنى : ماجدة البنا

## مقدمة

يعتبر اللاسلكى ، من أحدث ميادين العلم ، ومع ذلك لم يتطور ذلك لعالم فى تلك المدة القصير التى انقضت منذ اكتشاف العالم الروسى الكسندر ستيفيانوفتش بوبوف اللاسلكى حتى الآن فحسب بل أصبح أحد الميادين الكبرى للعلم والهندسة وأصبح كذلك الأصل الذى تفرعت منه تلك الفروع الهامة مثل التحليل الطبقي اللاسلكى والجيوديسيا ( المساحة التطبيقية ) اللاسلكية والميتورولوجيا ( علم الظواهر الجوية ) اللاسلكية والفلك اللاسلكى وكذلك الكثير من الميادين الهندسية مثل تحديد المواقع باللاسلكى ( الرادار ) والملاحة اللاسلكية والقياسات اللاسلكية والتحكم عن بعد ، وكذلك تقنيات الآلات الحاسبة الالكترونية .

وبالطبع حدث الكثير من التغيرات فى إمكانيات الاتصال اللاسلكى فى نفس تلك الفترة . فالיום يضمن اللاسلكى اتصالا يعتمد عليه بين أى علم من النقط على سطح الأرض ، ونحن لا نجهل الآن ما يثير الدهشة فى أن عمال اللاسلكى فى المحطات الروسية العلمية السابحة مع التيارات البحرية فى منطقة القطب الشمالى يتصلون بعمال اللاسلكى فى البعثة الموجودة بالقطب الجنوبى عند ميرنى . ويمكن لأجهزة التلغراف الحديثة أن ترسل خصوصا بسرعات تصل الى عدة مئات من الكلمات فى الدقيقة . وقد انتشر استخدام التلغراف اللاسلكى الآلى للكاتب وكذلك التلغراف المصور اللاسلكى الذى يمكن بواسطته نقل الصور الفوتوغرافية والرسوم الميكانيكية والصور الثابتة الأخرى الى مسافات بعيدة .

وقد أدت الاتصالات اللاسلكية - أى استخدام الموجات اللاسلكية

فى نقل المعلومات بين محطتين لاسلكيتين أو أكثر - الى اذاعة الكلام ثم الموسيقى ، واليوم يعتبر نقل الصور المتحركة - التليفزيون - ارقى أنواع الارسال اللاسلكى تطورا كما أنه يتحول شيئا فشيئا الى شئ هام فى الحياة اليومية للناس فى كافة أرجاء الدنيا ، ولم تمكن خطوط النابذة اللاسلكية من نقل برامج التليفزيون الى مسافات بعيدة فحسب بل وفى نفس الوقت أيضا المئات من المحادثات التليفونية .

واليوم تفزوتقنيات الهندسة اللاسلكية الفرع تلو الآخر من فروع الصناعة ، وفى كثير من الأحيان تكون فاتحة ثورة هندسية فعلية ، وعلى سبيل المثال نذكر تقسية الصلب بالتيارات الكهربائية ذات التردد العالى ومعالجة المعادن بالتيارات الكهربائية ذات التردد العالى واستخدام الأجهزة الالكترونية فى مراقبة جودة المنتجات فى المصانع ، والتحكم الآلى فى الانتاج واستخدام التيارات الكهربائية عالية التردد فى صناعات البلاستيك والكاثودشوك وتجفيف الخزف والطباق وحفظ المأكولات .

ويسمى هذا الميدان الواسع من العلم والهندسة - الذى لم يذكر منه سوى جزء صغير فيما تقدم - عادة بالالكترونيات .

ومن الطبيعى جدا أن يتطلب بناء الهيكل الضخم للالكترونيات الحديثة الجهود المستمرة من الكثير من العلماء والمهندسين . فقد بنى مخترع الراديو الكسندر بوبوف أعماله على أساس ما توصل اليه من سبقوه وبالذات على أعمال المسالم الطبيعى الانجليزى « كلارك ماكسويل » الذى قدم نظرية المغناطيسية الكهربائية والعالم الطبيعى الألمانى « هرتز » الذى ولد الموجات المغناطيسية الكهربائية . كما قام المهندسون والعلماء أمثال الايطالى « جوليلمو ماركونى » واليوغوسلافى « نيكولا تسلا » والألمانى « كارل براون » والعلماء الروس ل . ي . ماندلستام و ن . د . بابالكىسى و م . ف شوليكن وكثيرون غيرهم بأبحاث فى نفس الاتجاهات التى سار فيها بوبوف وزملاؤه . وقد كان التطور السريع للالكترونيات نتيجة للتعاون والمنافسة بين العلماء فى كثير من البلاد .

وقد تميزت تقدم العلوم الالكترونية ، كما هو الحال فى معظم فروع العلم والهندسة الباقية ، بمراحل تتراوح بين التقسم البطيء والصعود السريع . وقد كان من أهم الحوادث التاريخية فى تاريخ الالكترونيات اختراع كل من لى دى فورست فى الولايات المتحدة وروبرت خون ليبين فى ألمانيا للصمام الثلاثى فى وقت واحد تقريبا وكان ذلك عام ١٩٠٦ .



وقد شق ~~الخطام~~ الإلكتروني - الذي استخدم أولا في أجهزة الاستقبال ~~اللاسلكية~~ - طريقه تدريجيا في أجهزة ارسال اللاسلكية قاضيا بذلك تماما على دوائر الشرارة والقوس الكهربائي التي كانت مستخدمة قبل ذلك في توليد الموجات اللاسلكية .

ومن الطريف حقا أن نلاحظ أن التجارب الأولى لبويف وكذلك تلك التي قام بها هرتز كانت على موجات مغناطيسية كهربائية ذات أطوال تبلغ عدة ديسيمترات . وبعد ذلك قادت الرغبة في زيادة مدى الاتصالات اللاسلكية والعلو عليها إلى استخدام موجات أطول وصلت إلى عدة كيلو مترات ، ومع ذلك اكتشف هواة اللاسلكي في أوائل العشرينات أنه يمكن استخدام الموجات التي تصل إلى عدة عشرات من الأمتار طولاً في الإرسال إلى مسافات عظيمة - ونتيجة لهذا انتشر بالتدريج استخدام الموجات الأقصر طولاً . والآن تستخدم الموجات السنتيمترية والمليمترية في الرادار والاتصالات والأبحاث العلمية . وجدير بالذكر أيضا أنه بالرغم من أن العالم الروسي المعروف ب . ن . ليبيديف كان قد توصل إلى توليد الموجات المغناطيسية الكهربائية المليمترية في نهاية القرن الماضي ، كما تمكنت أ . ج . جولييف - ار كادييف من الحصول على موجات أقصر في ١٩٢٣ ثم بوساطتها ربط نطاق الموجات اللاسلكية بنطاق الموجات تحت الحمراء ( الحرارية ) ، فإنه لم يمكن استخدام الموجات السنتيمترية والمليمترية استخداما عمليا إلا بعد التوصل إلى صنع أنواع خاصة من الصمامات الإلكترونية .

وقبل ثورة أكتوبر ، كانت ظروف البحث العلمي في ميدان اللاسلكي في روسيا سيئة للغاية ، فحتى الكسندر بويف مخترع الراديو والمعد القليل من المساعدين الذين كانوا يعملون معه لم تكن لديهم التسهيلات اللازمة للقيام بعملهم ، ونتيجة لهذا لم يزود الأسطول الروسي بالمعدات اللاسلكية اللازمة أثناء الحرب الروسية اليابانية .

وبالرغم من هذه الظروف غير المواتية ، ظهر في روسيا عدد لا بأس به من المتخصصين البارعين الذين سساروا في طريق بويف وارتقوا بأعماله . وكان ضمن هؤلاء بونش - بروفيتش وفولوجدين وليبدنسكي وماندلستام وبالكسكي وبتروفسكي وفرايمان وتسيكلنسي وشولكين . وفي بداية الحرب العالمية الأولى ، أسس مركز للأبحاث والانتاج في روسيا . وقد عمل هذا المركز - أساسا - لامتداد البحرية بالمعدات اللاسلكية . وفي أثناء الحرب نظم م . أ . بوش - بروفيتش انتاج صمامات الراديو ، وفي نفس الوقت كانت هناك صناعة للصمامات

الالكترونية يشرف عليها ن . د . بايالكبي الذي كان ~~أول من استخدم~~ التسخين بالتردد العالي لافراغ الصمامات من الغازات ، ثم ~~بعمر ذلك~~ بين ن . د . بابالكس إمكان استخدام التيارات ذات التردد العالي في اذابة المعادن في الفراغ .

ومع ذلك لم تبدأ الهندسة اللاسلكية في الازدهار بالفعل الا بعد الثورة .

فمنذ الأيام الأولى لثورة أكتوبر ، وجه الحزب الشيوعي الكثير من الاهتمام لتطوير اللاسلكي واستخدامه . وقيل أذيعت المراسيم الأولى للحكومة السوفيتية على العالم بأسره بالتلغراف اللاسلكي .

وقد وضع ف . ا . ليفين أهمية كبرى على دور الراديو في تعليم الجماهير . ففي ٢١ يوليو سنة ١٩١٨ ، وقع مرسوم « حول مركزية الهندسة اللاسلكية » الذي خول لمجلس - تشرف عليه قوميصرية المواصلات البريدية والتلغرافية الشعبية - سلطة وضع خطة لبناء وتشغيل شبكة من المحطات اللاسلكية الدائمة والاشراف على تنفيذها . وفي ١٢ ديسمبر عام ١٩١٨ ، وقع ف . ا . لينين مرسوما بتأسيس معمل للراديو في نيزني نوفجورود وكان ضمن العلماء البارزين المكلفين بالعمل فيه . ا . بونش - برويفتش وف . ب . فولوجدين وف . ك . ليبيدنسكي ود . ا . روجانسكي و ا . ف . شورين وآخرون . وقد قام معمل نيزني نوفجورود بدور هام في تطوير هندسة اللاسلكي وذلك بما قام به في ميدان الصمامات الالكترونية والاذاعة والاتصالات بعيدة المدى .

وقد رأى ف . ا . لينين بوضوح الامكانيات الجبارة لهذا الوسيط الجديد - الاذاعة - ولهذا عضده معمل نيزني نوفجورود للالكترونيات تمضيدها كبيرا .

وعندما تم تصنيع أول جهاز ارسال للتليفون اللاسلكي في سنة ١٩٢٠ ، كتب لينين لبونش - برويفتش :

« ... أنتهز هذه الفرصة لأعبر لكم عن عميق امتناني لعملكم الهام في الاختراعات اللاسلكية . ولا شك أن المستقبل زاهر أمام هذه الصحيفة التي بدون ورق ولا تحدها مسافات والتي تقومون بتطويرها وأعدكم بتأييدي الكامل لها وللأعمال المشابهة » .

وبعد ذلك كرر لينين تأكيده بأن « هذا العمل على جانب كبير من الأهمية لنا حيث إن نجاحه سيؤدي إلى فائدة كبرى في ميدان تعليم الجماهير » .

وتعليمات من لينين ، صمم معمل نيزني لفوجورود اول محطة ارسال اذاعية لاسلكية قوية في العالم وسماها كومينترن وقام بتشغيلها عام ١٩٢٢ في موسكو . وكانت قدرة هذه المحطة اثني عشر كيلو وات . وقد تحقق حلم لينين عن الصحيفة التي « بلا ورق ولا تنحما مسافات » منذ زمن طويل في الاتحاد السوفيتي . فقد أصبحت موسكو أكبر مركز للاذاعة السوفيتية . وتحمل محطات الارسال اللاسلكية القوية صوت بلاد السوفيت المحب للسلام الى كافة اركان المعمورة وتسعه كل البلاد . كذلك تلعب الاذاعة السوفيتية دورا هاما في الصراع من أجل السلم . وتساعده البيانات الصحفية المنذرة من المحطات السوفيتية على تقريب الشعوب من بعضها البعض وزيادة تفهمهم بعضهم لبعض ، كما تساعد على التقارب بين قوى السلام .

وتذيع محطات موسكو بانتظام برامج من مدن كبرى أخرى وكذلك من أماكن المنشآت المختلفة ومن المزارع الجماعية ومزارع الدولة ، وكذلك تعيد اذاعة بعض البرامج الخاصة من بكين وعواصم البلاد الديوقراطية الشعبية في أوروبا على المستمعين السوفيت .

حقا ان القيمة الثقافية والتعليمية للاذاعة عالية لدوجة كبيرة ، فان الحفلات الموسيقية المذاعة وكذلك الاذاعات من دور الأوبرا والمسارح والأحاديث والمحاضرات المختلفة تجتذب الملايين من المستمعين ، ولئن يقلص وقت بلويل حتى يتمكن الملايين من الناس في كافة أرجاء البلاد من الاستماع الى البرامج المذاعة من موسكو ولينينجراد وكيف وباقي مدن الاتحاد السوفيتي بل ويرونها أيضا .

وبالتطبع لم تتحقق المنجزات العظيمة للهندسة اللاسلكية السوفيتية، الا كنتيجة للتقدم العلمي والهندسي العام للبلاد . فقد خلق كل برنامج من برامج السنوات الخمس الاقتصادية فرصا للعمل في ميدان الاتصالات اللاسلكية والاذاعة والصناعة وكذلك للأبحاث المتزايدة في هذه المجالات .

وقد أشار الرفيق ن . س . خروشوف في تقريره الذي ألقاه في الاجتماع الواحد والعشرين للحزب الشيوعي السوفيتي الى تطوير الوسائل الآلية في الصناعة والاقتصاد القومي ، وقد وجه عناية خاصة

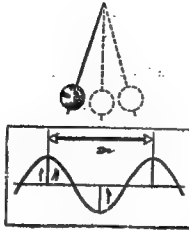
اللاسلكى والالكترونيات وبخاصة الآلات الحاسبة الالكترونية ، كذلك  
أعلنت العدة لتطورات أكبر في ميدان الاتصالات اللاسلكية والأذاعة .  
فقد تقرر زيادة عدد الأجهزة اللاسلكية الى ٣٠ مليوناً فى عام ١٩٦٥  
منها ١٢٥ مليون جهاز تليفزيون ، كما تقرر بناء حوالى ١٠٠ مركز  
تليفزيونى آخر ، وستربط خطوط للتابعة اللاسلكية موسكو بأبعد المدن  
وهى فلاديفوستوك فى الشرق وكيشينيف وأوزجورون فى الجنوب  
الغربى . وستصل برامج التليفزيون المذاعة من استديوهات موسكو عن  
طريق هذه الخطوط الى كافة المدن فى وسط البلاد كما ستمكن هذه  
الخطوط فى المستقبل من تيسار البرامج مع تشيكوسلوفاكيا والمجر  
وجمهورية الصين الشعبية .

ومما لا شك فيه أن التطور المستمر للصناعات اللاسلكية والأبحاث  
فى ميادين الالكترونيات سيقسم الاستهلاك السريع المنتشر للالكترونيات  
فى الاتحاد السوفيتى .

وسيقصر هذا الكتاب على شرح أحدث فروع الالكترونيات والتي  
لا يعرف عنها الكثير . ولتجنب تكرار الايضاح ، سنعالج الفيزيائيات  
الاساسية فى هذه المقدمة .

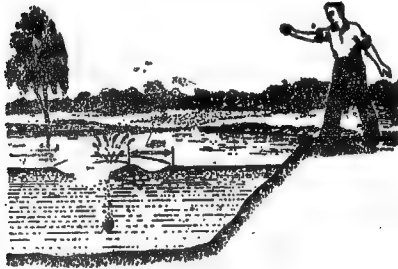
## الذبذبات والموجات

تشبه الموجات اللاسلكية الأمواج على سطح الماء فى أنها عملية  
دورية . . وهناك كثير من الظواهر الطبيعية التى تحتوى على عمليات  
دورية . وتختلف العمليات الدورية عن باقى العمليات فى أن الجسم  
المتحرك حركة دورية يعود الى وضعه الابتدائى بعد وقت محدد يسمى  
مدة الدورة ثم يبدأ دورة جديدة من حركته ، وعلى هذا يكون تكرار  
النهار والليل وتعاقب الفصول عمليتين دوريتين . وتعتبر الحركة  
التذبذبية نوعاً من أنواع العمليات الدورية . وأشهر العمليات التورية  
التذبذبية هى تمايل البندول ( شكل ١ ) فالبندول التمايل ينحرف  
الى كلا جانبيه وضع التوازن المرة تلو المرة . ويسمى تمايل البندول ،  
أى المسافة من وضع التوازن الى أقصى وضع انحراف له ، باتساع ذبذبة  
البندول ، أما بالنسبة للموجات على سطح الماء فإن الاتساع هو نصف  
المسافة الرأسية من قمة الموجة الى قعرها .



( شكل ١ ) ذبذبة البندول والتمثيل البياني للعزمة الموجية  
١ - الاتساع ج - طول الموجة

وتستغرق كل ذبذبة من ذبذبات البندول وقتاً محدداً يسمى فترة الذبذبة . وفترة الذبذبة في العمليات الموجية هي الزمن الذي ينقضي بين مرور نقطة معينة بقمطين متجاورتين للموجة ( شكل ٢ ) . وفي هذا الزمن تتحرك الموجة الى الأمام مسافة تساوي طولها بالضبط ، وعلى هذا يمكننا أن نعرف طول الموجة بأنه المسافة بين قمتي موجتين متجاورتين .



( شكل ٢ ) الموجات على سطح الماء.  
ج - طول الموجة

وتساعد دراسة هذه العمليات الدورية البسيطة على فهم المقصود بكلمة التردد . فتردد البندول المتمايل هو عدد الذبذبات الكاملة التي يتجها في ثانية واحدة .

وبما أن الزمن المطلوب لإكمال ذبذبة كاملة ( تسمى عادة بالدورة أو السايكل ) يساوى فترة الذبذبة ، فإن التردد هو عدد فترات الذبذبات في الثانية .

والحال الثاني من أمثلة العمليات التذبذبية هو تذبذب وتر الكمان أو الجيتار . إذ - كقاعدة - ينحرف الوتر بأكمله وفي وقت واحد إلى أحد جانبيه وضع التوازن ، ثم يعود إليه ثم ينحرف ثانية ولكن في الاتجاه المضاد هذه المرة ، ويظل طرفا الوتر المتبعتان ساكنتين ولا يتنخلان في هذه الحركة ، بينما تتحرك النقطة الوسطى للوتر بأكبر اتساع . وتستغرق كل نقطة على الوتر نفس الزمن لتكمل دورة كاملة . وهذا يعنى أن كافة نقط الوتر تتذبذب بنفس التردد . ويتوقف تردد تذبذب الوتر على كتلته وشده : فكلما غلظ الوتر وزاد ارتخاؤه انخفض تردده وغلظت النغمة الصادرة عنه .

والصوت عملية تذبذبية أيضا ، إذ يضغط الوتر المتذبذب دوريا على جزيئات الهواء المحيط به ، وينتقل هذا التضاضط من جزء إلى آخر على شكل موجات صوتية تمتد في جميع الاتجاهات .

ومن الحقائق المعروفة عن الصوت أن سرعته في الهواء لا تتوقف على شدته ولا طبقته ، أى أن الأصوات العالية لا تسبق الأصوات الضعيفة والأصوات الحادة لا تسبق الأصوات الغليظة ولا تتأخر عنها ، ومن هذا نرى أن طول الموجة الصوتية مرتبط بطبقتها ، أى بفترة ذبذبة الصوت ، إذ أن الصوت ينتقل في مئة الذبذبة الواحدة مسافة تساوى طول موجته ، وهذه العلاقة تربط طول الموجة وفترة الذبذبة وسرعة امتداد الأنواع الأخرى من الموجات بما فيها الموجات اللاسلكية ، فكلما زادت فترة الذبذبة طالت الموجة وذلك بالنسبة لسرعة امتداد معينة .

وهنا قد يتعرض البعض على ما قلناه بما يلي :

إذا اقترب أحدهم من فرقة آلات نحاسية يسمع أولا صوت الطبول والآلات غليظة الصوت ، ألا يعنى هذا أن الموجات الأطول - وهى التي تناظر النغمات ذات الطبقة المنخفضة - تسبق الموجات الأقصر وهى التي تناظر النغمات عالية الطبقة . مثل هذه الفكرة خاطئة ، فإن تفسير

هذه الظاهرة ليس أن النغمات منخفضة الطبقة تسبق تلك عالية الطبقة ، بل أن الطبقات المنخفضة ( الموجات الطويلة ) لا تتضاءل بالمرور في الهواء كما تفعل تلك العالية ( الموجات القصيرة ) ، كما أنها أقلر على التغلب على المقبات المختلفة التي قد تصادفها في طريقها . لهذا يمكن سماعها على مسافة أبعد من تلك التي يمكن عندها سماع الأصوات عالية الطبقة التي تمتص وتتبدد في الهواء بدرجة أكبر . وبما أنه يمكن سماع الأصوات ذات الطبقة المنخفضة على مسافات أبعد ، تكون هذه الأصوات أول ما يسمع عند اقتراب المرء من فرقة آلات نحاسية .

ومع ذلك فهناك حالات تتوقف فيها سرعة الامتداد على طول الموجة، فمثلا تنتشر الموجات الكبيرة على سطح الماء أسرع مما تفعل الصغيرة . وتحرك موجات المد العظيمة الناتجة عن الزلازل التي تحدث في قاع البحر بسرعة ملحوظة . وعندما تصطدم هذه الموجات بالشاطئ تسبب غالبا أضرارا جسيمة .

ولا تتوقف سرعة الضوء على طول موجته ( أي لونه ) عندما يتحرك في الفراغ فقط ، أما إذا تحرك الضوء في وسط ما مثل الزجاج أو الماء أو البلورات الشفافة ، فإن سرعة موجات الضوء الأطول ( الضوء الأحمر ) تكون أكبر قليلا من سرعة الموجات الأقصر ( الضوء البنفسجي ) . وهذا يفسر ظهور قوس قزح . وتحليل الضوء الأبيض إلى طيف - كقاعدة - يمكن ملاحظته أحيانا عندما يمر الضوء في أطراف جسم شفاف . ويسمى اعتماد سرعة الامتداد على طول الموجة بتشتت الضوء .

ويلاحظ التشتت أيضا عند امتداد الموجات اللاسلكية في جو الأرض . وكذلك تلعب هذه الخاصية دورا هاما في نقل الموجات اللاسلكية في الأنابيب المعدنية المسماة بدلائل الموجات والتي تستخدم في المعدات العاملة على الموجات الستيميرية .

وعندما يصطدم الصوت بحائل ، تضغط موجاته عليه ضغطا دوريا، ولكننا عادة لا نستطيع أن نحس بهذا الضغط أو نكتشف تأثيره على الأشياء المحيطة بنا لأن الضغط الناتج عن موجات الصوت صغير جدا ، ولكن نستطيع أذنانا فقط الاحساس به .

ومع ذلك فليس الاستماع هو الوسيلة الوحيدة التي يمكننا بواسطتها الاحساس بالصوت ، بل يمكن لوثر مشلود أن يحس بموجات الصوت الناتجة عن وتر آخر ، فزيادة شد الوتر الأول تدريجيا يمكن أن نجعله يهتز بتأثير الثاني ، وفي هذه الحالة يتطابق الصوتان الصادران

من الوترين ، ويقال أن الوترين موالفان على تردد الرنين ، وهنا تصبح أصغر قوة كافية لأن تجعل الوتر يهتز بانتساع ملحوظ . ولكن إذا زيد قسد الوتر أو انقص ، قل اتساع الاهتزاز كثيرا . فإذا رسمنا منحني بيانيا يمثل تغير اتساع ذبذبة الوتر مع الموالفة نحصل على منحني له قمة حادة عند الرنين . يسمى هذا المنحني الرنين .

ويتوقف ضيق منحني الرنين على جودة الوتر . وإذا بدأ وتران في الاهتزاز معا بنفس الاتساع ، يصدر الوتر ذو منحني الرنين الأضيق صوتا لمدة أطول .

وهذا يعني أن ذبذبة هذا الوتر تتفصل بدرجة أقل من تلك الصادرة عن الآخر . وتتوقف قيمة المضائلة على السرعة التي تشع بها الطاقة المختزنة في الوتر ( أو أى نظام متذبذب آخر ) في الفضاء وتفقد بالإحتكاك .

وليس الرنين من خصائص الأوتار فقط بل انه من خصائص أى نظام متذبذب . وفى بعض الأحيان يمكن استخدام الرنين استخداما نافعا ، بينما يمكن أن يكون ضارا في أحيان أخرى ويجب إزالته ، وقد أصبح معروفا الآن أن الكبارى تنهار وأجنحة الطائرات تتحطم اذا حدثت فيها ذبذبات رنينية ، بينما يستختم الرنين في الهندسة اللاسلكية فى جميع أجهزة الاستقبال لفصل اشارات المحطات اللاسلكية المطلوبة عن اشارات باقى المحطات ، وكذلك فى أغراض أخرى .

ولندرس الآن إحدى السمات الهامة للحركة التذبذبية .

يخزن البندول أو الوتر عندما يكون فى أحد وضعيه الأفقيين كمية معينة من الطاقة ، وتتوقف الكمية الفعلية لهذه الطاقة المختزنة على وضع البندول أو الوتر . وتسمى الطاقة التي تعتمد على وضع الجسم بطاقة الوضع .

فإذا ما أطلق البندول يبدأ فى الحركة بفعل الجاذبية الأرضية أولا وكنتيجه للقوى الرجوعية ثانيا ، وتزيد سرعة الحركة باستمرار حتى تصل الى نهايتها العظمى وذلك عندما يمر البندول أو الوتر بنقطة التوازن ، ففي هذه النقطة تكون طاقة الوضع التي كانت مختزنة فى الجسم فى البداية قد نفدت بأكملها .

ولكن الطاقة لا تختفى بذلك ، فإن الجسم يكتسب طاقة حركة بتزايد سرعته ، وتزيد هذه الطاقة - كما هو معروف - بزيادة كتلة



الجسم وسرعته • وعند نقطة التوازن ، تصل سرعة البندول أو الوتر الى اقصاها كما ذكر من قبل ، وبالتالي تصل طاقة حركته أيضا الى نهايتها العظمى عند هذه النقطة • وبهذا تتحول طاقة وضع الجسم المتذبذب - باقترابه من وضع التوازن - الى طاقة حركة •

ولكن لا يستطيع الجسم المتحرك أن يظل في وضع التوازن • اذ يحمله القصور الذاتي بعيدا عن هذا الوضع ، ويتحرك البندول الى الأمام يرتفع الى أعلى ، أى تتحول طاقة حركته الى طاقة وضع نتيجة للجاذبية الأرضية • وفي حالة الوتر المتذبذب ، تتحول طاقة الحركة الى طاقة وضع نتيجة للشد •

وعندما تستهلك طاقة الحركة بأكملها ، يصل الجسم الى حالة السكون في وضعه الأقصى الثانى ، فاذا لم يكن هناك احتكاك أو أى فقد آخر للطاقة ، يصل الجسم الى نفس طاقة الوضع الأول التى كانت له في بداية حركته ، أما اذا كان هناك فقد للطاقة فان تأرجح (اتساع) الذبذبات يقل تدريجيا حتى تقف الذبذبة نهائيا • وكلما كان فقد الطاقة أكبر خمدت الذبذبات أسرع •

وبهذا نرى أن الحركة المتذبذبة الميكانيكية تتضمن تحويلا مستمرا للطاقة من طاقة وضع الى طاقة حركة وبالعكس •

ويختلف تردد العمليات المتذبذبة اختلافا بينا ، فمثلا يتذبذب بندول ساعة الحائط المعتادة مرتين في الثانية ، وهذا يعنى أن كل ذبذبة تستغرق نصف الثانية ، وبعبارة أخرى يكمل البندول دورتين كاملتين في الثانية ، أو يتذبذب بتردد قدره ذبذبتان ( دورتان ) في الثانية •

وتتذبذب الأوتار بترددات أعلى ، ويمكن للانسان أن يسمع الأصوات التى لا يقل ترددها عن ١٦ دورة في الثانية ولا يزيد على ١٥٠٠٠ الى ٢٠٠٠٠ دورة في الثانية ، أما الترددات المستخدمة في الهندسة اللاسلكية فاعل من ذلك بكثير • وتقاس الترددات التى تعمل عليها المحطات اللاسلكية عادة بألاف الهورات في الثانية - أو الكيلو دورة في الثانية ( كيلو ساكل ) - وبالمليون دورة في الثانية أو الميجاساكل في الثانية •

## الذبذبات الكهربائية

ساعدتنا دراسة الذبذبات الميكانيكية على فهم السمات الرئيسية للعمليات التذبذبية ، وسنتناول الآن الذبذبات المغناطيسية الكهربائية . وهي أساس الهندسة اللاسلكية .

وتختلف الذبذبات المغناطيسية الكهربائية عن زميلتها الميكانيكية في أنها تتضمن تغيرا في وضع أى جسم في الفراغ ، ولا تساعدنا أى من حواسنا الخمس على الإحساس بها إحساسا مباشرا ، فليس لنا حاسة كهربائية ، ومن بين كافة الموجات المغناطيسية الكهربائية المختلفة ، لا يمكننا الإحساس إلا بموجات الضوء وذلك بواسطة أعيننا (★) .

ومع ذلك يمكننا — بأجهزة خاصة — الكشف عن الموجات المغناطيسية الكهربائية عندما لا نشعر حواسنا نهائيا بوجود أية عملية تذبذبية . ويمكننا تتبع تحويل النوع من الطاقة الى الآخر في الذبذبات المغناطيسية الكهربائية تماما كما في حالة الذبذبات الميكانيكية . بل يمكننا تحويلها الى ذبذبات ميكانيكية ودراسة هذه الأخيرة مباشرة . وقد أظهر هذه الأبحاث أن القوانين العامة التي تحكم الذبذبات الميكانيكية تنطبق أيضا على الذبذبات المغناطيسية الكهربائية .

تتمد مجالات القوى الكهربائية المنشآت بتيار ائارة متردد . وقد اشتق هذا الاسم من أن التيار المار في المصباح المتوهج يهبط من قيمته العظمى الى الصفر ثم يتزايد ثانية في الاتجاه المضاد ثم بعد أن يصل الى نهاية عظمى يمود فيهبط الى الصفر ، وتتم هذه العملية بمعدل حوالى ٥٠ مرة في الثانية ، ولما كان هذا التيار يتذبذب خمسين ذبذبة كاملة في الثانية فإنه يقال ان تردده ٥٠ سايكل في الثانية .

وهنا يتساءل البعض : لماذا لا نشعر بأى ارتعاش في الضوء المنبعث من المصباح ما دامت قيمة التيار المار في المصباح تتغير دوريا وباستمرار بحيث يمر بالصفر ٩٠ .

---

(★) بالإضافة الى الموجات الضوئية ، يحس الجلد بالموجات المغناطيسية الكهربائية ذات الموجات الأطول من موجات الضوء المرئي — على ألا يزيد طولها على ثلاث أضعاف المليمتر — على هيئة موجات حركية . أما الموجات فوق البنفسجية التي تسبب اسمرار الجلد عند تعرضه للشمس والأشعة السينية التي يمكنها أن تدمر خلايا الجسم فمن الموجات المغناطيسية الكهربائية أيضا ولكن موجاتها أقصر من موجات الضوء .

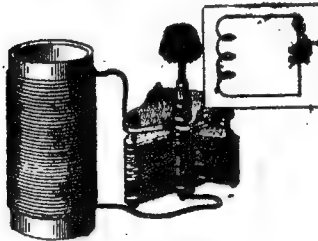
هذا - في الحقيقة - نتيجة لأن التردد ٥٠ هياكل في الثانية عال بحيث لا تجد شمعة المصباح وقتا كافيا لتبرد بشكل ملحوظ عندما يضمحل التيار ، وبالإضافة الى هذا ، فهناك خاصية معينة - تسمى الدوامه ( انظر الفصل الثاني ) - تمنعنا من أن نرى مثل هذه التغيرات السريعة في شدة الإضاءة . وهناك حساسات خاصة تسمى الخلايا الضوئية - سنتكلم عنها في الفصل الثاني - مداومتها أقل بكثير من العين البشرية ، وهي لهذا قادرة تماما على الاحساس بالتغير في شدة إضاءة المصباح المتوهج .

ولو كان تردد منبع التيار الكهربائي أقل لما كان هناك شك في مقدرة العين البشرية على الاحساس بالارتعاش في ضوء المصباح .

وتولد التيارات الكهربائية ذات التردد المنخفض عادة بوسائل ميكانيكية . فمثلا يولد التيار الكهربائي المستخدم في الانارة بمولدات تيار متردد تمار بالبخار أو التربينات الأيدروليكية .

وتولد الذبذبات ذات التردد العالي - بما فيها تلك المستخدمة في الهندسة اللاسلكية - عادة بوسائل كهربائية بحتة .

وتنشأ الذبذبات الكهربائية عندما يوصل ملف من سلك نحاسي بمكثف ( شكل ٣ ) ويتكون المكثف من الواح معدنية تفصلها طبقات من الهواء أو أية مادة عازلة .



( شكل ٣ ) : دائرة تذبذبية كهربائية تتكون من مكثف وملف وتمثيلها الرمزي .

وللمكثفات القدرة على اختزان الطاقة الكهربائية ، وكلما زادت سعة المكثف زادت كمية الطاقة المخزنة . ويمكن مقارنة سعة المكثفات بسعة الأوعية العادية إلا أنها لا تخزن سائلا أو غازا بل طاقة كهربائية . وتتوقف السعة الكهربائية للمكثف على تركيبه وتقاس بوحدة خاصة تسمى الفاراد وهذه الوحدات كبيرة جدا ، لهذا استخدم الجزء من مليون من الفاراد ( الميكروفاراد ) أو حتى الواحد من مليون من الميكروفاراد ( البيكوفاراد ) في القياسات العملية .

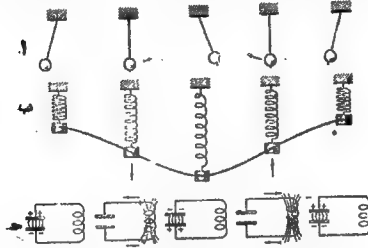
إذا شحن مكثف ذو سعة عالية - ( ١ ميكروفاراد مثلا ) بالطاقة الكهربائية من بطارية جافة عادية ذات ٨٠ فلطا ، فستنتج - عند قصر دائرة طرفيه - شرارة يصحبها صوت مسموع .

ويمكن للملفات المصنوعة من الأسلاك أن تخزن الطاقة أيضا وذلك نتيجة لأن التيار الكهربائي المار في أى ملف لا يمكنه التوقف فورا . وهذه ظاهرة تذكرنا بالقصور الذاتي للأجسام العادية المتحركة . ويتوقف المعدل الذى يتناقص به التيار الكهربائي المار في ملف بعد فصل منبع القدرة الكهربائية عنه على حث الملف ، الذى يتوقف بدوره ، على حجم الملف وشكله وعدد لفاته ويزيد حث الملف بزيادة حجمه وعدد لفاته .

وعندما يمر تيار مستمر في ملف ، يتكون حوله مجال مغناطيسى ، فإذا كان التيار قويا بالدرجة الكافية ، يمكن لمثل هذا الملف أن يجذب الأجسام الحديدية ، أى أنه يصبح مغناطيسا . وهذا المجال المغناطيسى للملف هو الذى يخزن طاقة التيار المار فيه . وعندما تقطع دائرة المنبع ، يتبدى المجال المغناطيسى ، وهو بهذا يساعد على استمرار التيار في الملف ، وكنتييجة لهذا لا يتوقف التيار فورا وإنما يتناقص بالتدريج ، ويبدأ اختزان الطاقة الكهربائية عندما تقفل دائرة المنبع . وهذا يجعل تزايد التيار تدريجيا بحيث يصل إلى نهايته العظمى فقط عندما يحصل المجال المغناطيسى على كفايته من الطاقة . وكلما زاد حث الملف زادت الطاقة المخزنة في مجاله المغناطيسى وزاد الزمن الذى يستغرقه التيار ليصل إلى نهايته العظمى التى تحددها فلطية المنبع ومقاومة الملف .

وإذا وصل ملف عبر مكثف مشحون ، يسرى تيار في الملف يتزايد تدريجيا ، ويتكون مجال مغناطيسى حول الملف يمتص الطاقة الكهربائية التى كانت مخزنة في المكثف . ويصل التيار وكذلك شدة ( اتساع ) المجال المغناطيسى إلى أقصى قيمة عندما تستهلك الطاقة الكهربائية المخزنة في المكثف . وفى هذه اللحظة تكون الطاقة الكهربائية بأكملها قد تحولت

الى طاقة مغناطيسية في المجال المغناطيسي للتيار المار في الملف . ويمكن مقارنة هذه الطاقة بطاقة الحركة ليندول متحرك ( شكل ٤ ) .



( شكل ٤ ) : ثلاث نظم تذبذبية :

١ - ليندول      ب - وزن متصل بزنبرك

ج - دائرة تذبذبية كهربائية أثناء التذبذب تتحول فيها طاقة الوضع الى طاقة حركة ثم الى طاقة وضع ثانياً .

وبالرغم من استهلاك الطاقة المختزنة في المكثف ، يستمر التيار في السريان في نفس الاتجاه السابق ، وتدفعه في هذا الاتجاه طاقة المجال المغناطيسي الذي تكون في الجزء الأول من العملية . وهذا التيار يشحن المكثف ثانية ولكن بحيث يصبح اللوح الذي كان موجبا في البداية مشحون بشحنة سالبة وبالعكس . ويستمر التيار في السريان بتأثير طاقة المجال المغناطيسي - كما لو كان بالتصوير الذاتي - متناقصا في قيمته حتى يصل الى الصفر .

ويتوقف التيار عن السريان نهائيا في اللحظة التي يستهلك فيها المجال المغناطيسي تماما ، وفي نفس الوقت يكون المكثف قد شحن ثانية بحيث يعود الى فلطيته الأصلية وبهذا تكون الطاقة المغناطيسية قد تحولت الى طاقة كهربائية تعود الى دفع تيار كهربائي في الدائرة ولكن في الاتجاه العكسي . ويمكن أن تستمر هذه العملية بلا نهاية اذا لم تفقد الطاقة الكهربائية في تسخين الأسلاك أو بالتبديد في الفضاء .

وبهذا تنشأ في دائرة تتكون من سعة وحث عملية تذبذبية تتحول فيها الطاقة الكهربائية الى مغناطيسية وبالعكس ، ويسرى تيار متردد في الملف وتكون شحنة مترددة باستمرار غير المكثف . ويتوقف الزمن

المطلوب لكل ذبذبة ( فترة الذبذبة ) على قيم السعة والحث في الدائرة .

وفي كل ذبذبة ، تتسبب مقاومة الأسلاك في فقد جزء من الطاقة المغناطيسية الكهربائية في تسخينها ، وكذلك يفقد جزء من الطاقة في تسخين العازل - الذي يعتبر جزءا من المكثف - أو في جذب لفات الملف إلى بعضها . وكنتييجة لهذا ، تأخذ سعة الذبذبات الكهربائية في التناقص ، أى تأخذ الذبذبات في التضاؤل . ومع ذلك فليس هذا هو السبب الوحيد الذى من أجله تتضاءل الذبذبات ، بل هناك أيضا سبب آخر ، فان الطاقة الكهربائية لا تتركز بكاملها في المكثف ، فمهما كانت المسافة بين ألواح المكثف صغيرة ، يمتد جزء من المجال الكهربائي خارج المكثف منتشرا في مناطق كبيرة من الفضاء . وكذلك توجد نفس الظاهرة بالنسبة للمجال المغناطيسى للملف . وبهذا يتضح أن هناك جزءا معينا من الطاقة المغناطيسية الكهربائية الموجودة في المجال المغناطيسى الكهربائي لا يظل محصورا في نطاق الدائرة أثناء التذبذب ، بل يتسع في الفضاء على شكل موجات مغناطيسية كهربائية . ويكون تردد هذا الاشعاع هو نفس تردد الذبذبات في الدائرة وسرعة انتشاره مساوية لسرعة انتشار موجات الضوء .

وإذا لم تكن أبعاد المكثف والملف والأسلاك الموصلة صغيرة بالدرجة الكافية بالنسبة لطول الموجة المغناطيسية الكهربائية المتولدة ، فان كمية الطاقة المضيئة تصبح كبيرة .

وقد أظهرت الأبحاث المتعددة أن طبيعة الموجات المغناطيسية الكهربائية هي نفس طبيعة الضوء المرئي وأن الفرق الوحيد بينهما هو التردد وبالتالي طول الموجة . وهذه الموجات المغناطيسية الكهربائية التى تتراوح أطوال موجاتها من عدة كيلو مترات الى كسور من المليمتر هي التى تستخدم في الهندسة اللاسلكية .

وفي غالبية الاستخدامات العلمية والفنية للمعدات اللاسلكية ، يكون اشعاع الطاقة المغناطيسية الكهربائية خارج حدود المنشأة ضارا ، وفي هذه الحالات ينتقى المهندسون تصميمات المكثفات والملفات بعناية لتركيز طاقة المجال المغناطيسى الكهربائي داخلها .

ولكن الأمر على العكس تماما بالنسبة للاتصالات اللاسلكية والاذاعة والتليفزيون وباقي الاستخدامات اللاسلكية المتضمنة ارسال الاشارات لمسافات بعيدة ، اذ يكون اشعاع الطاقة المغناطيسية الكهربائية على شكل

موجات لاسلكية أمرا ضروريا جدا \* وقد عمد يوفوف - مخترع الراديو - الى زيادة ذلك الجزء من المجال الكهربائي الذي يقع خارج المكثف اصطناعيا لتحويل أكبر كمية من طاقة الذبذبات الكهربائية الى موجات لاسلكية .

لهذا أبعد لوحى المكثف الواحد عن الآخر بحيث كان غالبية مجال المكثف خارجه \* وكان لوحا هذا المكثف على شكل سلكين طويلين أطلق على أحدهما - المركب على عامود - اسم الهوائى ، بينما مد الثانى قريبا من الأرض وبسماه السلك المقابل ( وهو ليس ضروريا اذا كان الطرف الثانى للملف الحثى متصلا بالأرض ) \*

وقد لعبت فكرة الدائرة التذبذبية « المفتوحة » واختراع الهوائى دورا رئيسيا فى تطوير الاتصالات اللاسلكية .

وقد أمكن الحصول على نتائج أحسن بتوليف الهوائى \*

نحن نعرف الآن ان الدائرة التذبذبية الكهربائية تتكون من سعة وحث \* وتتركز السعة عادة فى مكثف والحث فى ملف من السلك \* ومع ذلك فلكل سلك - ولو لم يكن ملفوفا على شكل ملف - بعض الحث ، وهذا الحث أقل بالطبع من حث نفس السلك اذا لف على هيئة ملف . ولهذا السلك أيضا بعض السعة ، ونتيجة لهذا يمكن اعتبار الهوائى دائرة تذبذبية الى حد ما \*

فاذا نظرنا الى الهوائى كمثانة تذبذبية ذات سعة وحث محليدين، نجد أنه يتميز - كأية دائرة تذبذبية - بتردد رنين - أو تردد طبيعى - خاص \* فاذا لم ينطبق التردد الطبيعى للهوائى وتردد الذبذبات الكهربائية التى تغذيه ، يكون التيار فى الهوائى صغيرا ، أما اذا انطبق التردد الطبيعى للهوائى وتردد الذبذبات الكهربائية ، فان تيار الهوائى يكبر كثيرا عن الحالة الأولى \* فاذا أردنا زيادة كفاية الهوائى يجب أن نتضمن من تغيير تردده الطبيعى بحيث يمكننا أن نوافقه على الرنين مع تردد الذبذبات الكهربائية \*

ولما كان تردد الرنين متوقفا على قيمة السعة والحث فى الدائرة التذبذبية ، فانه يجب أن تتغير سعة وحث الهوائى حتى يمكن موائفته \* وبالرغم من أن سعة الهوائى وحثه يتوقفان على طوله ، الا أنه ليس من السهل موائفة الهوائى بتغيير طوله \* لهذا يوالف الهوائى - فى حدود المدى المعتاد من الترددات - باستخلام مكثف متغير أو ملف متغير يتصل

على التوالى مع الهوائى • وتكون هذه السعة أو هذا الحث جزءا سهلا  
التغير من دائرة الهوائى التذبذبية • وبهذا يسهل تغيير تردد رنين  
الهوائى أو بعبارة أخرى تسهل موافقته •

ويرفع المكثف المتصل على التوالى مع الهوائى تردده الطبعى ، أى  
يوافقه على موجة أقصر • أما الملف الحثى المتصل على التوالى مع الهوائى  
فينقص التردد ، أى يزيد طول الموجة • ويسمى هذا الملف بملف  
التحميل •

وتزيد موافقة هوائى جهاز الارسلان من تيار الهوائى وبالتالي من  
اشعاع الموجات اللاسلكية •

كذلك تزيد موافقة هوائى جهاز الاستقبال من شدة التيار الناتج  
عن الموجة اللاسلكية المستقبلة مما يزيد من حساسية جهاز الاستقبال  
كما تهبه أيضا خاصية هامة هى الانتقائية ، أى قابلية الجهاز لاستقبال  
الموجات ذات الطول المطلوب فقط • ويمكن معرفة مدى أهمية هذه  
الخاصية بسهولة من المثال الآتى : لنفترض أن هوائيا غير موافق استقبال  
إشارتين من محطات لاسلكيتين لهما نفس القسرة وعلى نفس المسافة ولكن  
تعملان على موجتين مختلفتين • هاتان المحطتان ستولسان تيارين بنفس  
الشدة فى الهوائى غير الموافق ولهذا تسمع المحطتان فى وقت واحد وبنفس  
الصوت ، مما ينتج عنه أن تتداخل المحطتان بحيث يستحيل  
الاستقبال •

أما إذا كان الهوائى موافقا على موجة إحدى هاتين المحطتين ، يكون  
التيار المستحث فيه نتيجة لإشارات هذه المحطة أكبر بعشرات المرات من  
الأخرى ، وتزيد قوة استقبال هذه المحطة بشكل واضح • وفى نفس الوقت  
تظل قوة استقبال المحطة الأخرى بلا تغيير فلا تتداخل مع المحطة  
المنتقاة •

وفى مدى الموجات الطويلة والمتوسطة يكون من الصعب جعل الهوائى  
طويلا بالدرجة الكافية للموافقة على تردد الرنين بدون استخدام ملف  
على التوالى • أما فى مدى الموجات القصيرة - وبالأخص فى مدى الموجات  
المترية المستخدمة فى التليفزيون - فإن الموقف يختلف تماما •

تصنع هوائيات التليفزيون عادة من موصل واحد مقسم إلى جزئين  
متساويين • ويتكون أبسط هوائى تليفزيونى من جزئين متساويين من  
أنبوب معدنى ويتصل بجهاز الاستقبال أو الارسلان بسلكتين يتصلان



بنصفيه • وتتوقف موالفة مثل هذا الهوائي أساسا على طوله • ويكون  
بردد رنين معظم الهوائيات الشائعة من هذا الطراز على موجة يساوى  
طولها ضعف طول الهوائي ، ويكون رنين مثل هذا الهوائي - ويسمى  
هوائى ثنائى القطب بطول نصف موجة - بالنسبة للموجات اللاسلكية  
شبيها بالطريقة التى يحدث بها رنين وتر مشدود من طرفيه مع موجة  
صوتية •

وهناك بعض أنواع من الهوائيات - وهى المستخدمة فى إرسال  
واستقبال موجات الرادار السنتيمترية - لا تشبه تلك المستخدمة فى  
أجهزة إرسال واستقبال الموجات الطويلة • وسنتناول هذه الهوائيات التى  
تشبه الاضواء الكاشفة والابواق سواء فى المظهر أو طريقة العمل بتفصيل  
أكثر فى الفصل الثالث •

ومن كبار المتخصصين فى ميدان نظرية الهوائيات وهندستها ١٠١  
بيستولكورز الذى منح ميدالية بوبوف الذهبية • وقد قام العلماء م ١٠  
بونش - برويفتشى ود ١٠٠ روجانسكى وف • ف تاتارينوف وم ١٠٠  
شوليكن وج • ز • ايزنبرج وي • ج • كلياتسكين وم • ١٠ ليونوفيتش  
و ١٠ ل • مينتس وم • س • نيمان وي • ن • فيلد وآخرون فى الاتحاد  
السوفيتى وج • و • و • هاو وك • فرانكلين فى إنجلترا وف •  
كارتر وس • شيلكونوف وآخرون فى الولايات المتحدة بمجهودات  
كبيرة فى هذا الميدان •

## الصمامات الالكترونية

تتضاءل الذبذبات الكهربائية التى قام تنشأ لسبب أو آخر فى  
دائرة تذبذبية بمضى الوقت نتيجة لفقد الطاقة • وفى الأيام الأولى لللاسلكى  
كانت تستخدم شرارة كهربائية لاثارة الذبذبات • أما الآن فتولد  
الذبذبات الكهربائية عموما بالاستعانة بالصمامات الالكترونية •

ويعتمد عمل الصمام الالكترونى على ما يسمى « بظاهرة اديسون »  
التي اكتشفها ذلك المخترع العظيم سنة ١٨٨٤ ، ففي ذلك الوقت كان  
اديسون فى صراع مع ظاهرة غريبة كانت تحدث فى المصابيح الكهربائية  
التوهجة • وفى تلك الأيام كانت شعيرة المصباح المتوهج توضع فى غلاف  
زجاجى يفرغ منه الهواء جيدا ، ولمع وجود هواء داخل الغلاف ، تسخن  
الشعيرة ، حتى تتوهج بضوء ساطع ولكنها لا تحترق ، وكان التيار  
المستخدم فى تسخين الشعيرة مستمرا •

ومع ذلك فقد اكتشف سرىا أنه بالرغم من الحرص الشديد فى تحضير الشعيرة وتفريغ الهواء من الغلاف ، كانت المصابيح تحترق بسرعة ، والأكثر من هذا أنها كانت تحترق من طرفها ، وبالأذات ذلك الطرف المتصل بالقطب الموجب للمنبع الكهربائى .

وقد لاحظ اديسون أن ذلك الطرف كان يتوهج بضوء أنصب من الطرف الآخر ، فإذا عكست قطبية المنبع يصبح الطرف الآخر أنصب ويحترق بسرعة . وبهذا توصل اديسون الى أن احتراق المصباح لم يكن نتيجة لعيب فى الشعيرة ولكن نتيجة لعدم انتظام التسخين على طولها ، الأمر الذى كانت له علاقة ما بقطبية الماكينة الكهربائية التى تغذى المصباح .

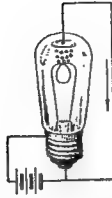
وبعد أبحاث طويلة توصل اديسون الى استنتاج أن الشعيرة المتوهجة تبث دقائق مشحونة بشحنة سالبة تنجذب الى الجزء من الشعيرة المتصل بقطب الماكينة الموجب والذى يحصل - لهذا - شحنة موجبة . وهذه الشحنة الموجبة هى التى تجذب الإلكترونات التى تصطدم - بعد أن تتسارع الى سرعات كبيرة - بالطرف الموجب للشعيرة ، ويتسبب هذا الاصطدام فى رفع درجة حرارة الشعيرة جلا حتى تتحلل .

ومع ذلك لم يستخدم اكتشاف اديسون فى منع احتراق شعيرات المصابيح المتوهجة ، وكان السبب فى ذلك - ببساطة - هو أن منابع تغذية تيار الاضاءة تحولت من التيار المستمر الى التيار المتردد وأصبح التحلل يحدث من الطرفين بانتظام مما منع الاحتراق المبكر للشعيرة ، كما طال عمر المصابيح الحديثة أيضا نتيجة للملثا بفاز حامل مثل الأرجون أو الكريبتون بدلا من تفريغها من الهواء . وهذا لا يقلل من تصادم الإلكترونات بالشعيرة فحسب بل يقلل كثيرا أيضا من تبخر المعدن من سطح الشعيرة المتوهجة مما يؤخر التحلل كثيرا .

وهنا قد يبدو أنه لم يكن هناك داع لذكر هذا العمل من أعمال اديسون الذى لم يحل المشكلة التى كانت سببا فيه . ولكن كان من الأهمية العظمى للعلم أن استطاع اديسون أن يثبت لأول مرة أن التيار الكهربائى يمكن أن يمر فى الفراغ فى بعض الظروف وفى اتجاه واحد فقط ، من شعيرة متوهجة الى قطب بارد (★) . وكان هذا الاكتشاف هو أساس عمل الصمام الالكترونى ( شكل ٥ ) .

---

(★) لعنى باتجاه التيار فى هذا الكتاب الاتجاه الذى تتحرك فيه الإلكترونات .



( شكل ٥ ) : الرسم التخطيطي لتجربة إدسون • تظهر الالكترونات المنبعثة من الشعيرة المتوهجة في الفراغ وعندما تصطدم بلوح الألوه تعود الى الشعيرة عن طريق السلك .

لماذا يستطيع المعدن المتوهج أن يبعث الكترونات ؟ هذا نتيجة للتركيب الداخلى الطبيعى للمعادن • فبعض الالكترونات فى المعادن مرتبطة ارتباطا ضعيفا بذراتها • مثل هذه الالكترونات « الحرة » يمكنها الحركة داخل المعدن من ذرة الى أخرى ، بينما يظل المعدن نفسه متعادلا ، أى غير مشحون • هذه الحركة العشوائية للالكترونات الحرة فى المعادن تجعلها موصلات جيدة للكهرباء ( والحرارة ) • فإذا ما وصلت قطعة من معدن أو سلك معدنى بمصدر قوة دافعة كهربائية ، تنجذب الالكترونات الى الطرف الموجب ويسرى تيار كهربائى فى المعدن • وهذا يعنى انه بالإضافة الى حركة الالكترونات العشوائية نتيجة للاثارة الحرارية ، تشترك الالكترونات فى حركة منتظمة نحو الطرف الموجب للمصدر •

وفى درجات الحرارة المنخفضة ، تكون طاقة الحركة العشوائية للالكترونات قليلة ولا تستطيع — عمليا — مفارقة المعدن ( باستثناء تلك الحالات التى تعبر فيها الالكترونات سطح المعدن الى الالكترونوليت فى الخلية الجلفانية ) • بينما تزيد طاقة الحركة العشوائية للالكترونات بالتسخين وتستطيع أسرعها أن تغادر المعدن خلال السطح •

وكما خرج الكترون ، خسر المعدن بالطبع الشحنة السالبة للالكترونات وأصبح موجبا بحيث يجذبه اليه ثانية كما لو كان يناضل لاستعادته ، فإذا أراد الالكترون أن يترك المعدن ، وجب عليه أن يتغلب على هذا الجذب ، أى يجب أن يقوم ببعض الشغل ، وهذا الشغل يعرف بدالة شغل الالكترون • ولهذا السبب يصل انبعاث الالكترونات الى قيمة ملحوظة فقط فى درجات الحرارة العالية ، عندما تكتسب كمية كافية

من الالكترونات الطاقة اللازمة لأداء هذا الشغل للتغلب على القوى الكهربائية التي تجذبها الى المعدن ثانية .

وتختلف قيمة دالة الشغل - التي تحدد درجة الحرارة المطلوبة للكاثود - من معدن الى معدن ، فهي عالية نسبيا للتنجستن النقي ، وهذا هو السبب في ان شعيرات الصمامات الأولى التي كانت مصنوعة من التنجستن كانت تسخن حتى البياض ، ولكن تنخفض دالة شغل التنجستن كثيرا باضافة التوريوم اليه ، ولهذا تعمل الكاثودات المخلوطة بالتوريوم في درجات حرارة أقل . وكذلك يمكن تشغيل الكاثودات بـ درجات حرارة أقل باضافة أكاسيد مختلفة وبالفات أكسيد الباريوم . ولا تحتاج مثل هذه الكاثودات الى أن تسخن للدرجة الاحمرار .

ويسمى الصمام الالكتروني المكون من قطبين فقط - كاثود متوهج وأنود بارد - بالصمام ذو القطبين أو الصمام الثنائي . فإذا انفصل الأنود بالكاثود في الصمام الثنائي يسلك ، تعود الالكترونات المتطيرة من الكاثود الساخن اليه ثانية في ذلك السلك بعنه أن تصطدم بالأنود، أي يسرى تيار كهربائي في ذلك السلك ، وهذا التيار يزيده بزيادة سطح الكاثود وتقص المسافة بين الكاثود والأنود . وتتوقف شدة التيار بالاضافة الى حجم الكاثود ومادته ، على درجة حرارة الكاثود . فكلما زادت درجة الحرارة زادت شدة انبعاث الالكترونات وزاد التيار .

ومع ذلك لا تصطدم جميع الالكترونات التي تغادر الكاثود بالأنود. بل يطير جزء كبير منها عشوائيا في الفراغ بين الكاثود والأنود مكونا نوعا من « الشحنة الحيزية » وتمنع هذه الشحنة الحيزية السالبة الالكترونات الجديدة من مغادرة الكاثود .

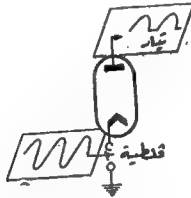
ولكن اذا زود الصمام الثنائي بطارية كهربائية بحيث يتصل طرفها الموجب بالأنود والسالب بالكاثود ، تنجذب الالكترونات الى الأنود ويزيده تيار الأنود بشدة ، وتقل كثافة « الغاز الالكتروني » بين الكاثود والأنود وتنبعث كميات جديدة من الالكترونات بسخاء من الكاثود ، وتنجذب هذه الالكترونات بدورها الى الأنود المشحون بشحنة موجبة .

فإذا زادت قطبية البطارية يزداد التيار المار في الصمام ، وتستمر هذه الزيادة الى أن تنجذب جميع الالكترونات المنبعثة من الكاثود الى الأنود، ويقال في هذه الحالة ان الصمام قد « تشبع » ، فلا يزداد تيار الأنود بزيادة قطبية البطارية بعد ذلك .

أما إذا وصلت البطارية بالصمام بحيث يكون طرفها الموجب متصلا بالكاثود والسالب بالأنود ، فإن الالكترونات المنبعثة من الكاثود تتنافر مع الأنود المشحون بشحنة سالبة وتعود الى الكاثود ، وفي هذه الحالة لا يسرى أى تيار فى الصمام .

وبهذا نجد أن للصمام الثنائي تلك المقدرة الرائعة على امرار التيار فى اتجاه واحد فقط : من الكاثود الى الأنود .

وقد مهدت هذه الخاصية - التى اكتشفها اديسون - الطريق أمام ج . فليمنج سنة ١٩٠٤ لاستخدام صمام ثنائي لتقويم التيار على التردد وللفصل الاشارات عن اللذبذبات عالية التردد التى ولدتها الموجات اللاسلكية فى الدوائر الموالة لجهاز استقبال لاسلكى ( شكل ٦ ) .

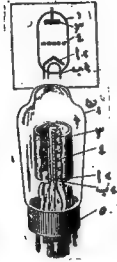


( شكل ٦ ) : يحول الصمام الثنائي التيار المتردد المسلط عليه الى تيار ثابت فى اتجاه واحد .

وقد أظهرت الدراسة لخواص الصمام الثنائي أنه لا يستطيع تكبير اللذبذبات الكهربائية ، اذ يجب لهذا الغرض أن يحتوى الصمام الالكتروني على قطب ثالث ، هو الشبكة .

وقد صنع هذا القطب - الذى يوضع بين الكاثود والأنود - أول ما صنع من شبكة معدنية دقيقة ، ومن هنا جاء الاسم ( شكل ٧ ) . أما الآن فتصنع شبكات الصمامات ذات القدرة المنخفضة عادة على شكل حلزون من السلك يلف بين الكاثود والأنود ، أما فى الصمامات ذات القدرة العالية فتصنع الشبكة اليوم على شكل شبكة حقيقية .

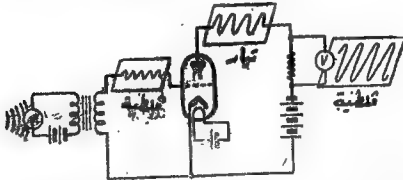
وتقوم الشبكة فى الصمام تقريبا بنفس وظيفة « جهاز التحكم »



( شكل ٧ ) : الصمام ذو الانطاب الثلاثة ( الصمام الثلاثي )

- |               |             |
|---------------|-------------|
| (١) القلاف    | (٢) الكاثود |
| (٢) ب) المسطح | (٣) الأنود  |
| (٤) الشبكة    | (٥) القاعدة |

الذى يديره السائق فى الترام • فبادارة ذراع هذا الجهاز يبذل السائق مجهودا صغيرا كى يبذل الموتور قسرة كبيرة أو صغيرة ، وكذلك تعمل شبكة الصمام الثلاثي التى تسمى عادة شبكة التحكم فبالاستعانة بالشبكة تتحكم الذبذبات الكهربائية الضعيفة التى يولدها الميكروفون المتصل بها ( مثلا ) فى البطارية القوية المتصلة بدائرة أنود الصمام ( شكل ٨ )



( شكل ٨ ) مكبر بصمام ثلاثي • تتحكم الذبذبات الكهربائية الضعيفة الناتجة عن الميكروفون الوصل بين الشبكة والكاثود فى تيار أنود الصمام • ويكون الساع ذبذبات تيار الأنود أكبر بكثير من الساع تيار الذبذبات فى دائرة الميكروفون • وتكون فلطية مترددة مكبرة عبر المقاومة الموصلة بدائرة الأنود •

وبما أن الشبكة موضوعة بين الكاثود والأنود ، فإن جميع الإلكترونات لابد وأن تمر بين لغات الشبكة وهي في طريقها من الكاثود الى الأنود . فإذا لم تكن هناك شحنة كهربائية عليها ، فإنها لا تؤثر على مرور الإلكترونات خلالها وفي هذه الحالة يعتمد تيار الأنود على تصميم الصمام وقيمة فلطية الأنود فقط ، أما إذا شحنت الشبكة بشحنة سالبة ، فإن الإلكترونات - المشحونة دائما بشحنة سالبة - تتنافر معها ولا يستطيع إبطؤها أن يصل الى الأنود اطلاقا بل يجبر على العودة الى سحابة « الغاز الالكتروني » المحيطة بالكاثود ، وينخفض بالطبع تيار الأنود . وإذا كانت الشحنة السالبة على الشبكة كبيرة بحيث لا يتمكن أى الكترون من المرور خلالها الى الأنود ، فإن تيار الأنود يتوقف ، وبالرغم من وجود شحنة موجبة عليه لا يمر تيار كهربائي في الصمام ، وهنا يقال أن الصمام في حالة « قطع » .

أما إذا وصلت فلطية موجبة بالشبكة ، فإن تيار الأنود يزداد بزيادة فلطية الشبكة على أساس أن فلطية الأنود ثابتة ، وبذلك تندفع الإلكترونات المنجذبة بالفلطية الموجبة على الشبكة خلالها بالتصور الذاتي وتصل الى الأنود بكميات أكبر مما لو كانت الشبكة متعادلة ، وهذا يزيد بالطبع من تيار الأنود ، وتستمر زيادة تيار الأنود بزيادة فلطية الشبكة الى أن تجعل الشبكة جميع الإلكترونات المنبعثة من الكاثود تصل الى الأنود ، ولا يزيد تيار الأنود بعد ذلك لأن الصمام يكون قد وصل الى حالة التشبع .

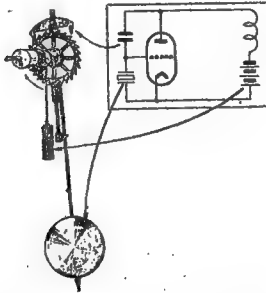
وقد مكن التأثير القوي للفلطية الشبكة من استخدام الصمام الإلكتروني في تكبير الذبذبات الكهربائية الضعيفة .

ولا يمكن استخدام الصمام ذو الأقطاب الثلاثة في تكبير الذبذبات الكهربائية فحسب بل في توليدها أيضا . وفي هذه الحالة ، يحول الصمام - الذي يكون موصلا بدائرة خاصة - طاقة مصدر التيار المستمر ( البطارية مثلا ) الى طاقة ذبذبات كهربائية .

ويسمى الجهاز الذى يولد ذبذبات كهربائية بالاستعانة بصمام الكتروني « بالمذبذب الصمامي » . ويحتوي المذبذب الصمامي - علاوة على الصمام - على دائرة موالفة وما يسمى بدائرة التغذية المرتدة . فإذا كانت الدائرة الموالفة موصلة بدائرة الأنود ، فإن جزءا من الطاقة الموجودة في هذه الدائرة تغذى ثانية شبكة الصمام ، ونتيجة لهذا

تتحكم الذبذبات فى الدائرة الموالفة فى تيار أنود الصمام الذى يساعد  
- بدوره - على استمرار الذبذبات فى الدائرة الموالفة ( أو التذبذبة ) .

وتشبه نظرية المذبذب الصمامى طريقة عمل آلية الساعة  
( شكل ٩ ) .



( شكل ٩ ) : المذبذب البلورى وآلية الساعة .

ففى الساعة ، يتصل البندول - الذى يحدد تردده سرعة الساعة  
- بالوزن المتحرك أو الزنبرك عن طريق آلية خاصة ( مجموعة الرقاص )  
ومجموعة تروس . وتتكون مجموعة الرقاص من شوكة متاريجة وترس  
سقاطة بأسنان ذات شكل خاص ، وبهذه الآلية يتحكم البندول فى  
سرعة الساعة ويتلقى - فى نفس الوقت - جزءاً من طاقة الوزن  
للاستمرار فى التذبذب .

وكما أن طاقة الساعة تكون مختزنة فى الوزن المرفوع أو الزنبرك  
الملفوف ، فإن طاقة المذبذب الصمامى تكون مختزنة فى بطارية الأنود .  
وفى المذبذب ، تتحكم الدائرة الموالفة فى تردد التذبذب . أما فى الساعة  
فيقوم البندول بذلك ، إذ يحدد البندول بمساعدة الرقاص معدل انخفاض  
الوزن ، وفى المذبذب تتحكم الدائرة الموالفة فى تيار بطارية الأنود  
بمساعدة الصمام الالكترونى . وفى كلتا الحالتين يستخدم جزء من  
الطاقة المختزنة فى الاحتفاظ بذبذبة « عضو التحكم » .



وإذا أريد الحصول على دقة عالية فى الساعة ، تتخذ احتياطات خاصة للاقلال من تأثير التغير فى درجة الحرارة وانضغط فيصنع البندول من مواد لا تتغير أبعادها كثيرا يتغير درجة الحرارة ، وأحيانا توضع الساعات الدقيقة فى حجرات على عمق كبير من سطح الأرض حيث الحرارة ثابتة على مدار السنة ، كما توضع الساعات فى أغلفة خاصة لحمايتها من تغير الضغط الجوى .

وتتخذ اجراءات مشابهة فى المذبذبات الصمامية ، وفى المذبذبات الدقيقة ، تستبدل الدائرة الموالية المعتادة ببلورة من الكوارتز تؤدي - من حيث العمل - نفس وظيفة الدائرة التذبذبية ، ولكن باستقرار أكبر ، فإذا أريد استقرار أكثر من ذلك توضع البلورة أحيانا فى وعاء مفرغ من الهواء ويحفظ فى جهاز ذى ثرموستات يحتفظ بدرجة حرارتها ثابتة أوتوماتيكيا .

والمذبذبات المولدة فى المذبذب الصمامى لا تستطيع ارسال أية اشارات بحالتها الطبيعية باكثر ما يستطيع الضوء الثابت المنبعث من مصباح متوهج . فإذا أريد ارسال اشارات بواسطة مصباح يجب أن يضاء ويطفأ طبقا لنظام شفرى خاص أو تغير شدة اضاءته أو توضع أمامه مرشحات ملونة لتشير لكون ضوءه . وهذه العمليات التى تغير الاضاءة المنظمة للمصباح ما هى الا أمثلة لتشكيل ( تغير ) الفيزى الضوئى للمصباح الذى يمكن بواسطته نقل الاشارات .

وينطبق هذا على ارسال الاشارات باللاسلكى ، فإذا أرسلت محطة لاسلكية ما موجات لاسلكية غير متقطعة ذات تردد وشدة ثابتين فإن المستمع لا يستطيع أن يعرف الا ما إذا كانت المحطة عاملة أم لا ، أما إذا أريد ارسال اشارات ، فيجب احداث اضطراب بطريقة ما فى التشغيل المنتظم للمحطة . وهناك طرق متعددة لهذا ، فمثلا يمكن إيقاف المحطة وتشغيلها لفترات تناظر النقط والشرط المستخدمة فى شفرة مورس .

كما يمكن تغير شدة الاشارة فقط بدون إيقاف المحطة بحيث تتبع هذه التغيرات نمطا معيناً ، وتسمى هذه الطريقة بطريقة « تشكيل الانساع » حيث ان اتساع ( شدة ) الموجات اللاسلكية هو الذى يتشكل ( يتغير ) . وأخيرا يمكن تغير تردد المذبذبات التى تشعها المحطة ، وتسمى هذه الطريقة « تشكيل التردد » وتناظر تغير اللون فى المثال البصرى المذكور سابقا .

وقد اخترع المذهب الصمامي المستخدم في توليد ذبذبات غير متضائلة في عدد من البلاد في وقت واحد تقريبا ( سنة ١٩١٣ ) ، ولكن تعطى الأسبقية في هذا للعالم الألماني هـ . مولر . كما بلور العالمان الألمانيان هـ . باركهساوزن و هـ . مولر والعالم الأمريكي د . م . برينس والعلماء السوفيت م . ف . شوليكنين و أ . ي . برج و أ . م . أندرونوف وأ . ل . مينتز وي . ج . كلياتسكين نظرية المذبذبات الصمامية .

ويعود الفضل بصفة خاصة للعالم السوفيتي م . أ . بونش - بروفيتش في تطوير صمامات الارسال القوية ، ففي سنة ١٩٢٠ ، صمم بونش - بروفيتش - الذي انتخب بعد ذلك عضوا مراسلا في أكاديمية العلوم في الاتحاد السوفيتي - صمام ارسال وصلت قدرته الى أكثر من كيلو وات واحد . وكان أتود هذا الصمام يبرد بالماء الجارى . وفي سنة ١٩٢٥ عرض بونش - بروفيتش في معرض الاتحاد اللاسلكي في موسكو صمام ارسال قدرته ١٠٠ كيلو وات . وجدير بالذكر أن معارض اللاسلكي الأوروبية عرضت في نفس العام لأول مرة نماذج معملية لصمام من تصميم ماركوني قدرته ٢٠ كيلووات صنعتها مصانع فيليبس في هولندا . وفي نفس الوقت لم يكن هناك انتاج لصمامات قوية لا في أوروبا ولا في أمريكا ، اذ واجه المصممون صعوبات كبيرة في محاولاتهم لزيادة قدرة الصمامات المفرغة .

وقد حل الاكاديمي أ . ل . مينتز مشكلة زيادة خرج المحطات اللاسلكية مع استخدام الصمامات الموجودة بالفعل ، اذ ابتكر طريقة التوصيل الجماعي واستخدمها سنة ١٩٣٣ في انشاء احدى المحطات اللاسلكية . فقد وجد طريقة لتشغيل عدة صمامات من نفس النوع معا لانتاج موجات لاسلكية ذات قدرات كبيرة ، ثم استخدمت طريقة مشابهة بعد ذلك في الولايات المتحدة ، وقد صممت عدة محطات لاسلكية قوية ونفذت تحت اشراف أ . مينتز بما فيها محطة بلغت قدرتها ١٢٠٠ كيلو وات بدأت ارسالها أثناء الحرب العالمية الثانية ، وقد صممت أيضا صمامات الارسال وطورت تحت ارشاده .

وقد قام أ . مينتز بأعمال هامة في ميدان استخدام الهندسة اللاسلكية في الأبحاث الخاصة بتسارع الدقائق المشحونة ، وقد كان بالذات واحدا من قادة المجموعة التي قامت بتصميم وتطوير أكبر سينكروترون في العالم ، والذي مكن من الحصول على دقائق ذات طاقة بلغت ١٠٠٠٠ مليون الكترون فولط ، كما قام مينتز أيضا بأعمال

كبيرة في ميادين الهندسة اللاسلكية الأخرى . وقد منح ميدالية بوبوف الذهبية سنة ١٩٥٠ لأعماله الباهرة .

وفي سنة ١٩٥١ منح هذه الجائزة الأكاديمي أ.ي. برج الذي تركّز أعماله حول نظريات المذبذبات الصمامية وحساباتها وكذلك استقرار التردد والتشكيل والاستقبال اللاسلكي وتحديد الاتجاهات باللاسلكي وميادين أخرى من ميادين الهندسة اللاسلكية .

وتستطيع المذبذبات الصمامية التي تستخدم الصمامات الثلاثية أن تعمل في مدى كبير من الموجات ، من أطولها إلى الموجات السنتيمترية . وبالطبع لا يتوقف تصميم الصمام على قدرته فقط بل أيضا على مدى الترددات الذي يعمل فيه .

ومع ذلك لا يصلح الصمام الثلاثي لتوليد ذبذبات قوية في المدى الديسيمتري ، ناهيك عن الموجات الأقصر .

والسبب في ذلك إن مدة الذبذبة في هذا المدى تقارب زمن انتقال الإلكترونات من الكاثود إلى الشبكة ، ونتيجة لهذا يضطرب الفعل المتبادل بين الذبذبات الكهربائية المسلطة على الشبكة والإلكترونات ، وتفقد الشبكة قدرتها على التحكم في تيار الإلكترونات بدون استهلاك طاقة كبيرة ، ويفقد الصمام قدرته على تكبير الذبذبات . وسنرى قصة التغلب على هذه الصعوبة في الفصل الذي سنصف فيه الصمامات اللاسلكية الحديثة المستخدمة الآن في محطات الرادار .

## امتداد الموجات اللاسلكية

يعتبر هوائي محطة الإرسال اللاسلكي أداة لتحويل طاقة الذبذبات عالية التردد إلى طاقة موجات مغناطيسية كهربائية . وتنتشر هذه الموجات عادة من الهوائي في جميع الاتجاهات ، انتشار الضوء من فانوس ضخم . وتستحث الموجات اللاسلكية في انتقالها على سطح الأرض ذبذبات كهربائية في جميع الأجسام القادرة على توصيل الكهرباء . وتستهلك طاقة هذه الموجات تبريجيا في حث هذه الذبذبات والاحتفاظ بها .

ولا تستهلك طاقة الموجات اللاسلكية في حث تيارات كهربائية في الأجسام المعدنية فحسب بل يفقد جزء كبير منها في الأرض ، ذلك لأن الأرض ليست عازلا مثاليا ، وعلى الرغم من أن التيارات المستحثة في المتر

المربع من سطح الأرض صغيرة ، فإن مجموع المفقودات يصل الى جزء كبير من الطاقة المشعة .

وهذا هو السبب فى أن مسافة امتداد الموجات الطويلة والمتوسطة (وستتناول الموجات القصيرة فيما بعد) لا تعتمد على قدرة المحطة اللاسلكية فحسب بل تعتمد أيضاً على حالة التربة . فمثلاً عندما تتجمد الأرض وتقطى بالثلج فى الشتاء ، تكون موصلاً أردأ مما فى الصيف ، ونتيجة لهذا تكون التيارات التى يستحثها هوائى المحطة اللاسلكية فى الأرض صغيرة ولذلك فإن محطات الموجات الطويلة والمتوسطة تسمع فى الشتاء على مسافات أبعد وصوت أعلى مما يحدث فى الصيف .

وهنا يبدو من المناسب أن نطرح السؤال التالى : اذا كانت الموجات اللاسلكية تمتد بطريقة تشبه طريقة امتداد الضوء المرئى ، فكيف يمكن الاتصال اللاسلكى على مسافات بعيدة ؟ وكيف « نحنى » الموجات اللاسلكية حول الكرة الأرضية ؟

ولكن يجب قبل لقاء الضوء على هذا الموضوع أن نذكر بعملا آخر له دور كبير فى الاتصالات اللاسلكية ، هذا العامل هو أن قوة استقبال المحطات اللاسلكية ومداهما لا تعتمد على الفصل من السنة وحالة التربة فقط ، فكل مستمع للإذاعات يعرف جيداً أن محطات الموجات الطويلة والمتوسطة تسمع بعد الغروب وحتى نهاية الليل أقوى مما تسمع بالنهار، كما يمكن استقبال عدد كبير جداً من المحطات بالليل لا يمكن الاستماع اليه بالنهار اطلاقاً .

لماذا يؤثر الوقت من اليوم على الاستقبال اللاسلكى ؟ من الطبيعى أن ترتبط هذه الظاهرة بالشمس ، وقد أظهرت الملاحظات أن الشمس تسبب تدهوراً فى الاستقبال اللاسلكى ، كما وجد أن الاستقبال يتحسن فى أوقات كسوف الشمس حتى أنه يصل فى لحظة الكسوف الكلى الى نفس درجة جودته بالليل .

نحن لا نستقبل من الشمس أشعة الضوء المرئى فقط ، بل تبعث الشمس بالإضافة اليها كمية كبيرة من اشعة غير مرئية ذات طبيعة تشبه طبيعة الموجات اللاسلكية والضوء ، هذه الموجات هى موجات مغناطيسية كهربائية ولكن موجتها أقصر من أقصر موجة فى الضوء المرئى ، وتعرف بالأشعة فوق البنفسجية .

وللأشعة فوق البنفسجية طاقة عظيمة كما أنها نشطة جداً ، وهى التى تسبب اسمرار الجلد عند تعرضه لضوء الشمس كما أنها قادرة على

قتل بعض الكائنات الحية الدقيقة وتحوير ألوان بعض الأصباغ والطلاء . الخ . وهي تدمر ذرات الغازات المكونة للهواء ، اذ تجبر الالكترونات على مقادرة الذات مما يجعل الذرات المتعادلة عادة تحمل شحنة موجبة . وتسمى الذرات المشحونة أيونات .

وكما تعرف جميعا ، تتكون كل ذرة من نواة تدور حولها الالكترونات، وتحمل الالكترونات شحنة سالبة بينما تحمل النواة شحنة موجبة تساوى مجموع شحنات الالكترونات التي تدور حولها . وتعاذل الشحنة السالبة للالكترونات الشحنة الموجبة للنواة مما يفقد الذرة ككل أية شحنة كهربائية ، او بعبارة أخرى يجعلها متعادلة .

فإذا ما تسببت الأشعة فوق البنفسجية في أن تفقد الذرة الكترونا أو أكثر من الكتروناتها ، لا تعاذل الالكترونات المتبقية شحنة النواة الموجبة . وبهذا تظهر شحنة موجبة على الذرة ، وهذا يعنى أن الذرة قد أصبحت أيونا موجبا .

وبالاضافة الى الضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية ، تبعث الشمس فيضا من الدقائق الصغيرة مثل الالكترونات والبروتونات (نويات ذرة الهيدروجين ) ودقائق أخرى تنتقل فى الفضاء بسرعات عالية . وعندما تصطدم هذه الدقائق بذرات الغازات فى طبقات الجو العليا ، تحول هذه الدقائق أيضا جزءا من الذرات الى أيونات (★) ونتيجة لهذا نجد أن طبقات جو الأرض العليا مشبعة بالأيونات والالكترونات الحرة .

وقد افترض العالم الفيزيائى الانجليزى « أوليفر هيفيسايد » والمهندس الأمريكى « آرثر كينيلى » فى سنة ١٩٠٢ أن الجزء العلوى من جو الأرض يحتوى على منطقة متأيئة ( الأيونوسفير ) ، وكان أساس هذا الفرض هو أن الموجات اللاسلكية تمتد الى مسافات كبيرة وراء الأفق ، وطبقا للفرض « كينيلى وهيفيسايد » - الذى تحقق بعد ذلك بالملاحظة العملية - فإن الأيونوسفير يجعل الموجات اللاسلكية تسير فى مسار منحني يدور حول سطح الأرض .

---

(★) ثبتت الشمس بالأشعة تحت الحمراء ( الحرارية ) أيضا ، وموجة هذه الأشعة أطول من موجة الضوء المرئي . ولقد ثبت أن هذه الأشعة ذات الموجات المقناطيسية الكهربائية الأطول من الضوء لا تختلف عن الموجات اللاسلكية ، كما يمكن - فى ظروف خاصة - استقبالها بأجهزة الاستقبال اللاسلكية حيث تتداخل مع الاستقبال المعتاد . ولكن هذا الجزء من اشعاعات الشمس لا يستطيع أن يؤين ذرات الهواء ولذلك فهو لا يؤثر على امتداد الموجات اللاسلكية المرسله من محطات لاسلكية على الأرض .

وقد أظهرت المشاهدات أن الأيونوسفير ليس وسطا متجانسا وأن خواصه تتغير باستمرار ، ويمكن تقسيم الأيونوسفير الى ثلاث طبقات متميزة تفصلها مناطق منخفضة التأين : الأولى منها على ارتفاع حوالى ٨٠ كيلومترا والثانية على ارتفاع حوالى ٢٠٠ كيلومترا والثالثة على ارتفاع حوالى ٤٠٠ كيلومترا . ويلاحظ أحيانا وجود طبقات أخرى ولكن تأثيرها على الاستقبال اللاسلكى صغير نسبيا فى الظروف العادية . ويرتبط تكوين الأيونوسفير ارتباطا وثيقا بالنشاط الشمسى ، اذ يتجدد تكوين الأيونات الموجية والالكترونات الحرة فى الأيونوسفير باستمرار نتيجة لفعل الاشعاعات الشمسية كما ذكر من قبل ، وتتحد بعض هذه الأيونات والالكترونات ثنائية الاصطدام فى أثناء حركتها العشوائية مكونة ذرات متعادلة . وكلما زاد عدد الذرات المدمرة زاد معدل الاصطدام بين الأيونات المتكونة حديثا والالكترونات . وفى النهاية تصل هاتان العمليتان المتضادتان : التدمير والتجديد الى حالة اتزان لا يحدث بعدها تغير يذكر فى الأيونوسفير .

لا يتعرض الغلاف الجوى للاشعاعات الشمسية فى الليل ، فتتوقف عملية التأين ولكن تستمر عملية انضمام الالكترونات الى الأيونات لتصبح ذرات . ولهذا يقل عدد الأيونات والالكترونات الحرة ، ويزيد معدل هذا النقص بزيادة كثافة الغلاف الجوى ، لأن تصادم الأيونات والالكترونات يزيد فى الطبقات الكثيفة من الجو عليه فى الطبقات المتخلخلة . ولهذا السبب تختفى الطبقة المتأينة التى على ارتفاع ٨٠ كيلو مترا تماما بالليل بينما تظل الطبقتان العلويتان موجودتين ليلا ونهارا ولكن يقل عدد الأيونات والالكترونات الحرة فيهما بالطبع عنه فى النهار ، وتفسر هذه التغيرات التى تحدث فى الأيونوسفير حالة الاستقبال اللاسلكى .

كيف تؤثر حالة الطبقات العليا من الجو على الاستقبال اللاسلكى ؟ الواقع أن الغازات المشبعة بالأيونات والالكترونات الحرة تكتسب خواص جديدة تختلف تماما عن خواص الهواء العادى ، فتصبح موصلة للكهرباء ، ونحن نعرف أن الموصلات تستطيع أن تمسك الموجات المغناطيسية الكهربية ، لهذا تنعكس الموجات اللاسلكية من الأيونوسفير كما يفعل الضوء المرئى مع المرآة ، وبهذه الطريقة يدور حول الأرض . وهذا يجعل الاستقبال اللاسلكى على مسافات بعيدة أقوى بكثير منه لو لم يكن الأيونوسفير موجودا . وفى نفس الوقت تتحرك الالكترونات الحرة فى الأيونوسفير بفعل الموجات اللاسلكية وتمتص بهذا جزءا من طاقتها . وعندما تصطدم هذه الالكترونات المتحركة بذرات الغاز تعطيها هذه الطاقة . وبهذا يفقد جزء من طاقة الموجات اللاسلكية فقدا نهائيا فى الأيونوسفير .

ويحدث أكبر امتصاص للموجات اللاسلكية الطويلة والمتوسطة في الجزء الأسفل من الأيونوسفير الموجود على ارتفاع أقل من مائة كيلومتر . وبعد الغروب - عندما تختفى الطبقات السفلى من الأيونوسفير - يقل امتصاص الموجات اللاسلكية بشدة مما يزيد من مدى الاستقبال اللاسلكي على الموجات الطويلة والمتوسطة كما يزداد وضوحها .

وقد استخدمت محطات الاذاعة اللاسلكية الأولى الموجات الطويلة التي كانت تتراوح في طولها بين كيلو متر واحد وثلاثة كيلو مترات ، ولكن بازدياد عدد المحطات ، استخدمت الموجات الأقصر ، وقد وجد أن مدى استماع هذه الموجات الأقصر - المعروفة الآن بالموجات المتوسطة - يتغير على مدار اليوم بدرجة أكبر من الموجات الطويلة ، ففي النهار لم تكن المحطات اللاسلكية العاملة على هذه الموجات تسمح الا على مسافات أقصر نسبياً .

وقد أظهرت المشاهدات بعد ذلك أن الموجات التي يبلغ طولها حوالي ٢٠٠ متر تمتص في الأيونوسفير بدرجة لا تجعلها صالحة للاتصالات البعيدة أو الاذاعة ، بينما الموجات الأقصر تمتص بدرجة أقل من الأيونوسفير لكنها تمتص بدرجة كبيرة في سطح الأرض . ولهذا السبب اعتبرت هذه الموجات في بداية عهد اللاسلكي غير صالحة لإطلاقاً للارسال الى مسافات بعيدة . وقد أعطيت هذه الموجات « غير النافعة » لهواة اللاسلكي .

ويمكنك أن تتصور - أيها القارئ - مدى دهشة مهندسى الراديو وعلماء الفيزياء عندما بدأت التقارير ترد مشيرة الى أن الهواة قد تمكنوا بأجهزة الإرسال منخفضة القدرة التي كانوا يصنعونها بأيديهم - من الاتصال ببعضهم البعض على هذه الموجات « غير النافعة » الى مسافات بلغت الآلاف بل عشرات الآلاف من الكيلو مترات .

ولقد شك الخبراء في البداية في صحة هذه التقارير ، فقد كانوا في ذلك الوقت مؤمنين تماماً بنتائج التجارب التي كانت تؤكد أنه كلما قصر طول الموجة زاد امتصاصها في الأرض وبالتالي يجب أن يكون مدى المحطة العاملة على الموجة القصيرة أقل من مدى محطة الموجة الطويلة بفرض أن قدرة المحطتين واحدة .

ومع ذلك فقد أظهر البحث أن هواة اللاسلكي كانوا صادقين : لقد كان من الممكن الاستماع الى محطات الموجة القصيرة ذات القدرة المنخفضة على مسافات عدة آلاف من الكيلومترات ، وفي نفس الوقت كان مهندسو اللاسلكي أيضاً على حق ، فإن الأرض تمتص الموجات القصيرة بدرجة

أكبر بكثير من الموجات الطويلة ، فكيف يمكن التوفيق بين هاتين الحقيقتين المتضادتين ؟

لقد اتضح بعد ذلك أن الموجات القصيرة تمتص بسرعة أقل في الأيونوسفير ولهذا يمكن أن تنعكس منه عدة مرات بدون توهين كبير ، وكنتيجة لهذا يمكن أن تستقبل هذه الموجات على أبعد مسافات ممكنة . ولكن شدة الاستقبال تعتمد على حالة الأيونوسفير اعتمادا كبيرا ، وبالتالي تتغير تغيرا كبيرا على مدار اليوم .

ومستناول انتشار الموجات المترية في الفصل الخاص بالتليفزيون الذى يعتبر الآن الميدان الرئيسى لاستخدامها ، وتستخدم الموجات الديسمترية والسنتيمترية والمليمترية غالبا في الرادار ومختلف الأبحاث العلمية ولهذا سنتناولها في الفصول المناسبة .

وقد أجريت الأبحاث الأساسية على امتداد الموجات الاسلكية في ألمانيا على يدى آرنولد سومرفيلد وهـ . فيل وفي هولندا على يدى ب . فان دربول وهـ . بريمر وفي الولايات المتحدة على يدى جون ولينجر وفي الهند على يدى س . ك . ميترا وفي إنجلترا على يدى ي . ف . أبلتون وفي الاتحاد السوفيتى على يدى م . ف . شوليكن وم . أ . بونش - بروفيتش و ب . أ . فيدنسكى وم . أ . لينتوفيتش وف . أ . فوك ون . أ . شوكين وآخرين .



### التليفزيون

تطورت الاذاعة اللاسلكية تطورا سريعا حيث انقضت ستون عاما فقط منذ اختراع الراديو ، كما وأن الارسلال الاذاعى بدأ منذ حوالى ثلاثين عاما ، ومع ذلك فهناك الكثير من محطات الاذاعة فى الاتحاد السوفيتى وكذلك الملايين من أجهزة الراديو وتركيبات الاذاعة السلكية .

ولعله من الغريب أن نعرف أن ارسلال الصور المتحركة بالراديو ( أى التليفزيون ) قد سبق كثيرا ارسلال الصوت ، ففي سنة ١٨٨٤ ، أى قبل اختراع اللاسلكى بعشر سنوات ، اقترح المهندس نيبكوف طريقة لارسلال الصور الى مسافات بعيدة ، وفى سنة ١٩٠٧ حصل العالم الروسى ب . ل . روزنج على براءة اختراع لنوع من التليفزيون يشترك فى كثير من سماته مع جهاز الاستقبال التليفزيونى الحديث .

ولم يكن ب . ل . روزنج اول من استخدم أنبوب أشعة الكاثود فى التليفزيون فحسب ، بل كان أيضا أول من ارتقى بفكرة اختزان الشحنات فيه .

ومع ذلك لم يدخل التليفزيون فى الحياة اليومية للجماهير الا فى العقد الأخير فقط ، وقد كان ذلك نتيجة للصعوبات الفنية الكبيرة التى واجهها التليفزيون .

وقد تم الآن التغلب على معظم هذه الصعوبات ، ولكن مازال بعضها يقلق مضجع الصلحاء والمهندسين الى يومنا هذا .

وستشرح فى هذا الفصل أساسيات التليفزيون وتصميم أجهزة التليفزيون الحديثة .

## صورة من نقط

إذا دققت النظر في أية صورة في صحيفة يومية ترى أنها مكونة من عدد ضخم من النقط الصغيرة .

وترتيب هذه النقط لا يعتمد على محتويات الصورة ، وكذلك المسافة بين النقط لا تتغير في أية منطقة من الصورة . ويسمى مثل هذا الترتيب للنقط تكوين الصورة ( شكل ١٠ ) .



( شكل ١٠ ) : تكوين من النقط مرتب بنظام صارم .

وبالرغم من أن نقط التكوين تكون مرتبة بنظام دقيق صارم ، إلا أنه يمكن نقل أية صورة بواسطتها ، ذلك لأن نقط التكوين تختلف في حجمها ، فبعضها صغير حتى أنه لا يرى نهائيا والآخر كبير بحيث يتداخل مكونا منطقة سوداء تماما ، وعندما ينظر الانسان الى صورة في صحيفة يومية ، لا تميز العين عادة النقط المنفصلة في التكوين ، بل تكون هذه النقط منظرا عاما مشتركا ، أي صورة متكاملة ، بحيث تمر خطوطها تدريجيا من الأبيض الى الأسود مارة بالدرجات المختلفة للون الأسود .

وكلما زاد عدد النقط الموجودة في السنتيمتر المربع من التكوين زادت جودة الصورة وتقاصيلها وأصبحت الدرجات الوسيطة للون الأسود أعمق .

وتستخدم أخشن أنواع التكوين في ألواح الإعلانات المضئية التي تتكون من مشات من المصابيح الكهربائية العادية مرتبة في صفوف منتظمة . وتضىء بعض هذه المصابيح بواسطة مفاتيح كهربائية خاصة بحيث تكون حروفا أو كلمات ، ويمكن - بواسطة هذه المفاتيح - أن نجعل هذه الصور تتحرك .

وينظم عمل المفاتيح بحيث تتحرك الحروف المضئية من اليمين الى اليسار (★) ، وتختفى عند نهاية اللوحة بينما تظهر حروف جديدة - مكونة كلمات جديدة - عند الحافة اليمنى وتتبع الأولى ، وبالطبع تظل المصابيح ساكنة بينما تضىء المفاتيح الكهربائية بعضها وتطفىء البعض الآخر حسب الحاجة (★★) ، ولكننا نحصل على الاحساس بالحركة لأن العين تحتفظ بأية صورة لمدة  $\frac{1}{8}$  ثانية تقريبا بعد اختفائها . وتسمى هذه الخاصية للعين بمداومة الرؤية .

وتستغل السينما خاصية مداومة الرؤية لخلق الاحساس بالصور المتحركة . فيحتوى الفيلم على كمية كبيرة جدا من الصور المنفصلة تسمى أطرا ( واحدتها إطار ) مصورة بمعدل ٢٤ صورة فى الثانية ، وكل إطار عيار عن صورة لحظية تظهر الجسم المتحرك فى وضع جديد يختلف قليلا عن سابقه .

وتعرض هذه الأطر على شاشة دار السينما بنفس السرعة التى صورت بها ، أى بمعدل ٢٤ إطارا فى الثانية ، فقبل أن يتلاشى الاحساس بأحد هذه الأطر من العين يكون الأطر التالى قد أضيف اليه ، وبهذا تتداخل الصور المنفصلة فى أعيننا وتخلق الاحساس بالحركة المستمرة .

وتعتبر لوحة الإعلانات الكهربائية مثالا لأبسط الوسائل الكهربائية لانتاج الصور . وهى وسيلة لنقل الصور الى مسافة بعيدة ، لأن المفتاح الذى يتحكم فى تشغيل اللوحة موضوع داخل المبنى ، وتنقل الأسلاك اشاراته الى اللوحة خارج المبنى ، ويمكن لمفتاح واحد أن يتحكم فى عدة لوحات توضع فى أماكن مختلفة ، ويمكن - اذا لزم الأمر - أن نجعل اللوحة ترسم صورة بسيطة .

---

(★) هذا بالنسبة للحروف اللاتينية . أما بالعربية فيجب أن تتحرك من اليسار لليمين - ( لترجم ) .

(★★) هناك لوحة من هذا النوع على سطح صحيفة أوفستيا فى ميدان بوشكين بـرسكو تعمل منذ عدة سنوات .

هذا واحد من أبسط وسائل نقل الصور المتحركة الى مسافة بعيدة، ويمكن أن يظن المرء أن النقل الكهربائي للصور لا يحتاج لأكثر من هذا ، وهذا حق من حيث المبدأ ، ولكن يصاحب التنفيذ العمل لمثل هذه الطريقة في التليفزيون صعوبات لا يمكن التغلب عليها ، فزيادة نقط تكوين الصورة تعنى زيادة عدد الأسلاك لأنه يجب توصيل كل مصباح على شاشة جهاز الاستقبال بسلك مستقل .

وقد تغلب المخترع الانجليزى ج . ل . بيرد على هذه الصعوبة بابتكار طريقة جديدة للتليفزيون سنة ١٩٢٦ ، اذ اقترح اضاءة مصابيح الصورة الواحد تلو الآخر لمدة قصيرة جدا بدلا من اضاءتها جميعا فى وقت واحد ، وبذلك يتصل كل مصباح بدوره على حدة بالمصدر ، وبهذا يمكن توصيل الشاشة بجهاز الارسال بزوج واحد من الأسلاك .

وبذلك تخلص بيرد من صعوبة تعدد الأسلاك ، ولكن ليوافق صعوبة اخرى ، فبالرغم من أن تلك الشاشة كانت تحتوى على ٢١٠٠ مصباح فقط ؛ أى أن تكوين الصورة كان يحتوى على ٢١٠٠ نقطة فقط ( وكان عدد الأطر ١٢٥ اطارا فى الثانية فقط ، فقد كان على المفتاح الكهربائى أن يقوم بعدد من التوصيلات فى الثانية قدره  $٢١٠٠ \times ١٢٥ = ٢٦٢٥٠$  . وبهذا كان على بيرد أن يستخدم مفتاحا معقدا جدا حتى أن تشغيله لم يكن مما يعتمد عليه باى حال .

وكان هذا سببا فى ارتفاع تكاليف طريقة بيرد مما جعلها غير صالحة للتليفزيون . وفى الواقع كان مسرح منوعات الكوليزيوم فى لندن هو المكان الوحيد تقريبا الذى استخدم فيه هذا الجهاز كاحدى نمر الاستعراض ، وبعد ذلك قام جهاز مشابه بجولة فى المدن الأوروبية الكبرى .

وقد فشلت جميع المحاولات لتحسين هذه الطريقة ، وأصبح من المؤكد استحالة الحصول على تليفزيون عالى الجودة بوسائل ميكانيكية ، أى باستخدام المفاتيح الكهربائية المعتادة . وقد توصل كثير من المهندسين منذ ذلك الحين - فى ضوء أعمال العالم الروسى روزنجر - إلى أن الوسائل الميكانيكية لم تكن الا عثرة فى طريق تطوير التليفزيون .

## الفسيفساء العجية

اقترح العالم السوفيتي س . ي . كاتانييف فى سنة ١٩٣١ طريقة عملية لاستخدام ظاهرة اختزان الشحنات فى أنبوب ارسال ذى أشعة كاثود . وقد مكن هذا من زيادة حساسية جهاز الارسال التلفزيونى عدة آلاف المرات ، ويمكن اعتبار هذه الطريقة نقطة التحول التى أمكن بعدها تنفيذ فكرة التلفزيون على الجودة .

ويمثل جهاز الارسال فى النظم الحديثة للتلفزيون زواجا سميذا بين الخلية الضوئية وأنبوب أشعة الكاثود .

والخلية الضوئية أداة خاصة يمكنها تحويل التغيرات فى شدة الضوء الساقط عليها الى ذبذبات كهربائية كما يحول ميكروفون التلفزيون الصوت الى ذبذبات كهربائية ، وهناك الآن كثير من أنواع الخلايا الضوئية . ويعتمد عمل الخلية الضوئية على مقدرة الضوء على قذف الالكترونات خارج الأجسام التى يسقط عليها .

وقد قام العالمان الفيزيائيان ! . ستوليتوف وإ . أينشتين بالدور الرئيسى فى تحقيق هذه الظاهرة الكهربائية الضوئية .

ويعتمد التلفزيون أساسا على القانون الرئيسى للتأثير الضوئى ، وطبقا لهذا القانون يتناسب عدد الالكترونات المنقذة بوساطة الضوء ، أى قيمة التيار الكهربائى الضوئى طرديا مع شدة الضوء الساقط على الخلية الضوئية ، فكلما زادت شدة الضوء زاد التيار والعكس بالعكس . وتعتبر الخلية الضوئية المفرغة واحدة من أكثر أنواع الخلايا الضوئية شيوعا ، وتسمى هكذا لأن أقطابها موضوعة فى فراغ ، أى فى مكان قد فرغ منه الهواء تماما .

والمادة الفعالة التى تتعرض للضوء فى مثل هذه الخلايا الضوئية هى عادة السيزيوم . وعندما يشاء سطح السيزيوم ، تتقذف منه الالكترونات ، ولهذا تسمى طبقة السيزيوم كاثود الخلية الضوئية بالقياس على صمام الراديو . ويحتوى غلاف الخلية الضوئية - بالإضافة الى الكاثود - على قطب ثان يسمى الأنود ، ويصنع الأنود عادة على شكل أنشوفة صغيرة من السلك توضع فى مركز الغلاف ، وتخرج الأسلاك الموصلة الى الكاثود والأنود الى خارج الغلاف الزجاجى .

ولتشغيل الخلية الضوئية ، يوصل الأنود بالقطب الموجب فى منبع التغذية الكهربائية والكاثود بالقطب السالب . فإذا لم يكن هناك ضوء

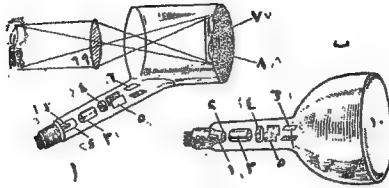
ساقط على الخلية الضوئية لا يمر تيار في الدائرة المكونة منها ومن منبع التغذية . أما إذا سقط ضوء على طبقة السيزيوم ، فإن بعض الالكترونات تترك كاثود الخلية الضوئية وتطير الى الأنود بفعل الفلطية الموجبة المسلطة عليه ، فيمر تيار كهربائي في الدائرة . وتناسب شدة هذا التيار مع شدة الضوء الساقط على الخلية الضوئية ، ويتبع التيار المار في الخلية الضوئية كل التغيرات التي تحدث في شدة الضوء ، تماما كما يتبع التيار المار في الميكروفون كل التغيرات في الصوت الساقط عليه ، ويشبه غلاف الخلية الضوئية العادية غلاف المصباح المتوهج .

وأنبوب كاميرا التليفزيون أعقد بكثير من ذلك ولكنه مبني أيضا على تطبيق التأثير الكهربائي الضوئي . ويصنع أنبوب الكاميرا ذو الشحنة المختزنة على شكل بصيلة رقيقة من الزجاج ذات رقبة اسطوانية طويلة رفيعة ، ويحتوى الجزء المتسع على العنصر الرئيسى فى الأنبوب ، ذلك الذى يسمى الفسفيساء والذى يعمل ككاثود لهذه الخلية الضوئية المعقدة .

ويصنع الكاثود الضوئي ذو الفسفيساء من لوح رقيق من الميكا ناعم تماما ومتجانس ، ويغطي أحد جانبيه بطبقة رقيقة من معدن بينما يغطي الآخر - وهو الجانب الفعال من لوح الميكا - بما يزيد على مليون كرية ميكروسكوبية من الفضة المشبعة بالسيزيوم ، وتمثل هذه الكريات التى تزيد على المليون أكثر من مليون خلية ضوئية دقيقة مستقلة تصنع فى مجموعها تكوينا دقيقا للصورة . وهذه الكريات الفضية هى الكاثودات بالنسبة لهذه الخلايا الضوئية المستقلة ، بينما تكون الطبقة المعدنية التى تغطي السطح الداخلى للبصيلة الزجاجية أنودا مشتركا لها وتغطي هذه الطبقة المعدنية السطح الداخلى للبصيلة بأكمله بحيث لا تترك سوى نافذة واحدة يسقط خلالها ضوء الصورة المراد ارسالها على الفسفيساء ( شكل ١١ ) .

وتستقبل الخلايا الضوئية المنفصلة المكونة لنقط هذه الفسفيساء الضوء الذى يسقط عليها من نقط الصورة المختلفة ، حيث تعكس الأجزاء المعتمة منها ضوءا أقل مما تفعل الأجزاء المنيرة ، وبهذا يختلف تيار الخلايا الضوئية المختلفة ، فتولد الأجزاء المنيرة من الصورة تيارات كبيرة ، بينما تولد تلك المعتمة تيارات صغيرة ، وبهذا « ترجم » « لغة » الضوء والظل الى لغة التيارات الكهربائية الكبيرة والصغيرة .

وبعد أن أمكن حل مشكلة ايجاد تكوين حساس للضوء ، ابتكر المهندسون نظاما لا يقل براعة لتوصيل هذه الملايين من الخلايا الضوئية الميكروسكوبية أوتوماتيكيا وبطريقة يمكن الاعتماد عليها الواحدة بعد



- ( شكل ١١ ) : ١ - أنبوب كاميرا تليفزيوني      ب - أنبوب الصورة التليفزيوني  
 ٢ - كاثود مسخن بتيار كهربائي      ٧ - الكاثود الضوئي ذو السيفيساء  
 ٣ - قطب التحكم      ٨ - الطبقة المعدنية التي تعمل كاثود  
 ٤ - قطب التسارع      مشترك لجميع الخلايا الضوئية في  
 ٥ - القطب الثاني المستخدم في تركيز      السيفيساء  
 ٦ - الألكترونات      ٩ - العدسة  
 ٧ - شاشة عليها طلاء حساس للضوء  
 ٨ - ألواح الانحراف الأفقي      ١٠ - تكون عليه الصورة المرئية  
 ٩ - ألواح الانحراف الرأسي

الأخرى بجهاز الإرسال التليفزيوني ، وبالطبع لم يكن هذا مجال المفاتيح الكهربائية الميكانيكية ، بل تم توصيل الخلايا الضوئية بجهاز الإرسال بالاستعانة بشعاع رفيع جدا من الإلكترونات عالية السرعة .

يوضع في نهاية رقبة البصيلة الزجاجية الاسطوانية الطويلة أداة تسمى مدفع الإلكترونات ويتكون مدفع الإلكترونات هذا من كاثود يسخن كهربائيا يشبه إلى حد ما ذلك الموجود في الصمام الإلكتروني المعتاد ، ويوضع هذا الكاثود داخل قطب اسطواني يعمل على تركيز الإلكترونات المنبعثة منه في حزمة رفيعة ، ويزود هذا القطب بفلطية سالبة ، فتتأخر الإلكترونات - وهي دقائق مشحونة بشحنات سالبة - مع هذا القطب مما يجعلها تطير في حزمة ضيقة تقع في محور الاسطوانة تقريبا .

وعندما تفسد الإلكترونات الكاثود تكون سرعتها منخفضة نسبيا ، ولكنها تتسارع كثيرا نتيجة لتجاذباها مع الأنود المشحون بجهد موجب عال . ويصنع هذا الأنود على شكل أنبوب معدني يحتوي على غشاء به ثقب مستدير في الوسط ، وتمر الإلكترونات خلال فتحة الغشاء وتستمر في طيرانها في حزمة ما زالت أضيق مما كانت عندما غادرت الكاثود .

وبهذا يطير شعاع ضيق من الإلكترونات عالية السرعة خارج المدفع الإلكتروني ، ويوجه هذا الشعاع إلى مركز التكوين الكهربائي الضوئي ، ولكنه يمر في طريقه بزوجين من الألواح المعدنية المتوازية أحدهما أفقي

والآخر رأسى ، وينحذب شعاع الالكترونات الى أحد لوحى الزوج الأول بينما يتناثر فى نفس الوقت مع الآخر بتأثير الفلطية المسلطة على ذلك الزوج من الألواح ، وبهذا ينحرف الشعاع رأسيا ، كما يحرف الزوج الثانى من الألواح الشعاع أفقيا .

وتقضى ألواح الانحراف فى أجهزة الاستقبال التليفزيونى الحديث بالفلطيات من مولدات خاصة تسمى مولدات المسح ، وتجعل هذه المولدات شعاع الالكترونات يتحرك من أعلى فسيفساء الخلية الضوئية الى أسفلها ٢٥ مسرة فى الثانية بينما ينحرف أفقيا أسرع من ذلك بمقدار ٦٢٥ مرة (★) .

ونتيجة لهذا يقسم الشعاع الالكترونى سطح التكوين الكهربائى الضوئى بأكمله الى ٦٢٥ خطا ، بينما يمسخ كل نقطة على التكوين ٢٥ مرة فى الثانية (★★) .

ويتحرك شعاع الالكترونات بفعل الفلطية المسلطة على ألواح الانحراف الأتقى بسرعة ثابتة مبتدئا من الركن العلوى الأيسر للفوسفاء الكهربائى الضوئى ، ولكن خط حركته لا يكون أفقيا تماما ، وهذا نتيجة لأن الشعاع ينحرف فى نفس الوقت من أعلى الى أسفل بتأثير ألواح الانحراف الرأسى ، وبهذا ينخفض الشعاع بمقدار  $\frac{1}{625}$  من ارتفاع الفسفساء عندما يصل الحافة اليمنى ، وبمجرد أن يصل الشعاع الى الحافة اليمنى ، يعود فى نفس اللحظة الى الحافة اليسرى من الفسفساء ، ويكون الارتداد من السرعة بحيث يكون الانحراف الرأسى للشعاع تأفها جدا ، وهذا الارتداد جزء غير فعال من عملية المسح ، وحتى لا تنشوه الصورة ، يقطع الشعاع أثناء الارتداد بواسطة دائرة خاصة .

وبمجرد أن يصل الشعاع الى الحافة اليسرى للفسفساء ، يعود الشعاع

الى الكترونى ثانية ، ويبدأ فى مسح الخط التالى ، وهو بدوره بمقدار  $\frac{1}{625}$

(★) شرحنا هنا الأيوب شى الانحراف الاستاتيكي للجبس ، وهناك أيضا كثير من الأنابيب التى لا تحوى على ألواح انحراف . وفى مثل هذه الأنابيب ، ينحرف الشعاع بواسطة قوى مغناطيسية تثار على الالكترونات الطائرة . ويحصل على القوى للمغناطيسية اللازمة بواسطة ملفات خاصة بالتيار الكهربائى من مولدات المسح .

(★★) تقسيم الصورة الى ٦٢٥ خطا هو أكثر النظم الحديثة شيوعا . وتستخدم المحطات الأمريكية ٥٢٥ خطا بينما تحفظ المحطات البريطانية - التى كانت من أوائل بدأ الإرسال التليفزيونى - بنظام ال ٤٠٥ خطوط ، وتستخدم معظم المحطات الأوروبية ال ٦٢٥ خطا بينما تستخدم المحطات الفرنسية نظاما يقسم الصورة الى ٨١٦ خطا .



من ارتفاع الفسفيساء أى يكون موازيا للخط الأول ، وبالاتمرار فى هذا يسمح الشعاع الالكترونى مسطح الفسفيساء بأكمله خطا بخط ، وعندما يصل الى الحافة اليمنى فى الحط الأخير ، يرتد فورا الى الركن العلوى الأيسر ويبدأ من جديد فى مسح الإطار التالى .

وأثناء مرور الشعاع الالكترونى على خلايا التكوين الضوئية ، يوصلها - حيثما وجد - بالدائرة الكهربائية الواحدة تلو الأخرى ، وفى كل مرة يتغير التيار المار فى الدائرة ، ويكون هذا التغير أكبر كلما كان الفرق بين اضاءة أجزاء الصورة الساقطة على الخلايا الضوئية كبيرا ، والنتيجة أن تظهر فى الدائرة ذبذبات كهربائية تناظر اختلاف اضاءة الأجزاء المختلفة للصورة المراد إرسالها .

وأنبوب الارسال التليفزيونى أكثر حساسية بكثير من الخلايا الضوئية العادية . والسبب فى ذلك أن كلا من الخلايا الضوئية المستقلة التى تكون للفسفيساء تتصل بالدائرة الكهربائية لفترة صغيرة جدا من الوقت ، وهو ذلك الوقت الذى يستغرقه الشعاع فى المرور عليها ، بينما تظل خارج الدائرة باقى الوقت ، ولكن الضوء يستمر فى السقوط عليها طول الوقت ، وتنفذ الالكترونات من كل خلية من خلايا الفسفيساء بفعل هذا الضوء ، وبفقد هذه الالكترونات تكتسب الكريات الفضية التى تعمل ككاثودات للخلايا الضوئية شحنات موجبة ، وتفرغ هذه الشحنات التى تتراكم خلال مدة ارسال الإطار فى وقت قصير جدا عندما يمر شعاع الالكترونات على سطح الكرية ، ويزيد هذا التيار اللحظى كثيرا على متوسط التيار الكهربائى الضوئى الذى تولده الخلية نتيجة للضوء الساقط عليها . وهذه هى فكرة اختزان الشحنة التى اقترحها العالم الروسى ب . ل . روزنج وحققها العالم السوفيتى س . ي . كاتاييف .

والارسال الصور باللاسلكى ، يتصل أنبوب الكاميرا - عن طريق مكبرات اضافية - بجهاز الارسال اللاسلكى بحيث تشكل الموجات اللاسلكية بنفس الطريقة التى يشكلها بها الميكروفون فى الارسال الصوتى .

وبهذا يرسل فى الهواء ٢٥ صورة كاملة - أو أطارا - يتكون كل منها من ٦٢٥ خطا كل ثانية .

وصور التليفزيون أحسن بكثير من صور الصحف ولا تقل كثيرا عن الصور الفوتوغرافية العادية من حيث الوضوح وغزارة الدرجات الوسطى للألوان .

وفى أجهزة التلفزيون الحديثة ، يكون نظام المسح أعقد نوعا ما  
كما ذكر ، وهذا نتيجة لأنه بالرغم من ارسال الصور بمعدل ٢٥ اطارا فى  
الثانية الا ان الصورة تعاني من ارتعاش واضح ، ويمكن ازالة هذا الارتعاش  
اذا أرسلنا ٥٠ اطارا فى الثانية بدلا من ٢٥ ، ولكن هذا يعنى مضاعفة  
نطاق الترددات اللازم لارسال الصورة .

ويمكن ازالة الارتعاش الذى يضايق الراى باتباع طريقة عبقرية  
لا تتطلب معدات أعقد كثيرا من سابقتها . وتسمى هذه الطريقة طريقة  
المسح المتشابك . وفى هذه الطريقة يرسل ٢٥ اطارا يحتوى كل منها على  
٦٢٥ خطا أيضا ، ولكن ترسل كل الخطوط الفردية أولا ثم الخطوط  
الزوجية وهكذا . وفى  $\frac{1}{2}$  من الثانية تغطى الصورة كلها بتكوين يتألف  
من ٣١٣ خطا ( أو  $\frac{1}{4}$  ٣١٢ خطا بالضبط ) وبعد ذلك يزحزح التكوين  
بمقدار خط واحد ثم ترسل باقى أجزاء الصورة فى  $\frac{1}{2}$  من الثانية التالى .

والنتيجة أن ترسل ٥٠ اطارا فى الثانية ، كل منها أكثر خشونة من  
الحالة الأولى ، وبهذا نتخلص نهائيا من الارتعاش بينما يظل وضوح الصورة  
كما هو بالطبع ، أى بما يناظر ٢٥ اطارا كل منها ذو ٦٢٥ خطا .

وبالاضافة الى هذا النوع من الأنابيب الذى شرحناه فيما سبق ،  
تستخدم أجهزة الارسال التلفزيونية الحديثة أنواعا أخرى من أنابيب  
الكاميرات . فمثلا هناك أنبوب بسيط جدا يستخدم فى ارسال الأفلام  
السينمائية ، ويستخدم هذا الأنبوب شعيرة واحدة رقيقة من مادة حساسة  
للضوء بدلا من فسيفساء من الكاثودات الضوئية . وقد أمكن هذا التبسيط  
نتيجة لحركة الفيلم ، اذ يمرور الفيلم باستمرار أمام الشعيرة الحساسة  
للضوء ، يولد بنفسه حركة المسح الرأسى ، فليس هناك حاجة إذن للمسح  
الاطارى ، ولا يلزم سوى دائرة الكترونية لتوليد المسح الخطى بطول  
الشعيرة الحساسة للضوء .

وسيستخدم نظام أبسط من هذا أيضا لارسال الأفلام فى مركز  
التلفزيون المنشأ حديثا فى موسكو وتستعمل فيه الخلايا الضوئية  
المعتادة . وفى هذا النظام يمر الفيلم بين خلية ضوئية بسيطة وأنبوب  
أشعة كاثودى عادى ، ويتحرك الشعاع الالكترونى فى هذا الأنبوب أفقيا

فقط ، أى بطول الخطوط ، وبمعدل ٦٢٥ خطا كل  $\frac{1}{4}$  من الثانية .  
وبالتالى ينقسم كل اطار الى ٦٢٥ خطا ، وفى هذه الحالة تتحرك بقعة  
من الضوء عبر شاشة الأنبوب مكونة خطا متوهجا ، ويمر هذا الضوء

خلال الفيلم ويسقط على الخلية الضوئية وتنفذ شدة الضوء المار في الفيلم حسب الضوء والظلال الموجودة في الإطار المرسل . وفي هذه الحالة يعتمد وضوح الصورة على أبعاد البقعة الضوئية المتحركة على شاشة أنبوب أشعة الكاثود ، وهذا يعني إمكانية الحصول على وضوح أكبر مما هو في النظم الحالية .

وللإرسال من داخل المباني مثل المسارح والمتاحف والمصانع ، وكذلك في - الإذاعات الخارجية التي قد لا تكون دائما جيدة الإضاءة ، تستخدم أنابيب تصوير ذات حساسية عالية بصفة خاصة إذ يتم التحويل الإلكتروني للصورة بواسطة التضاعف الثانوي .

### قريب وبعيد

بعد أن عرفنا طرق تحويل الصور إلى إشارات كهربائية ، نجد أن المشكلة التالية هي نقل هذه الإشارات إلى مسافات بعيدة .

وهذه المشكلة في الواقع مشكلة معقدة لأن الذبذبات الكهربائية الموجودة في الإرسال التليفزيوني معقدة جدا كما أظهرت الحسابات والقياسات ، وهي تمثل - بحالتها الطبيعية - مجموعة من عدد كبير من الذبذبات المستقلة ذات الترددات المختلفة ، وتغطي ترددات هذه الذبذبات نطاقا يمتد من عدة عشرات الذبذبات في الثانية إلى ستة ملايين ذبذبة في الثانية . نذكر - على سبيل المقارنة - أن نطاقاً أضيق بعدة مرات من هذا - من ٤٠ إلى ١٠٠٠٠ ذ/ث - يستخدم لإرسال الصوت .

ويعتبر إرسال ذلك النطاق الواسع من الترددات اللازم للتليفزيون مستحيلا لا على الموجات الطويلة والمتوسطة فحسب بل والقصيرة أيضا . إذ يجب أن يكون تردد الموجات اللاسلكية أكبر بمقدار ١٠ إلى ٢٠ مرة على الأقل من أعلى تردد يراد إرساله إذا أريد ألا تتشوه الصورة . ولهذا لا يمكن إرسال الإذاعات التليفزيونية عالية الجودة إلا على الموجات القصيرة جدا التي لا تتجاوز أطوالها ٧٥ مترا .

وقد تزايد استخدام الموجات القصيرة جدا بعد ذلك في الإذاعات اللاسلكية عالية الجودة ، إذ يمكن نطاق الموجات القصيرة جدا من إرسال الصوت بشكل أكثر طبيعية لأنه يمكن من زيادة نطاق الترددات المخصص لكل محطة نسبيا ، وبالإضافة إلى ذلك ، فهذا النطاق أكثر من النطاقات

الأخرى خلوا من التداخل الجوى والصناعى ، ولهذا تزود معظم أجهزة الراديو عالية الجودة الحديثة بنطاق للموجات القصيرة جدا أى ترددات عالية جدا ( ت . ع . ج ) .

وتجربنا حاجتنا الى استخدام الموجات القصيرة جدا فى التلفزيون والاذاعة عالية الجودة على أن نخسل فى اعتبارنا خواص هذه الموجات . فالموجات القصيرة جدا لا تدور حول سطح الأرض كما تفصل الموجات الطويلة ، كما وأنها لا تنعكس من الأيونوسفير فى الظروف العادية كما تفعل الموجات القصيرة : (★) . والنتيجة أنها تمتد فى المدى البصرى فقط . كموجات الضوء تماما (★★★) .

ومن هذا ترى أن مدى محطات ارسال الموجات القصيرة جدا محدود ، فعل الرغم من أن هوائيات أجهزة ارسال التلفزيون تقام عادة على أبراج عالية ( مثل برج شوخوف فى موسكو الذى يبلغ ارتفاعه ١٥٠ مترا ) أو على قمم ناطحات السحاب كما فى نيويورك ، يكون مدى محطات الارسال عادة محدودا بحوالى ٧٠ كيلو مترا ( شكل ١٢ ) .

وتمكن هوائيات الاستقبال الخاصة المقامة على صوار عالية من زيادة مدى الاستقبال الواضح . فمثلا يصل مدى الاستقبال الواضح لمركز تلفزيون موسكو بالنسبة لهواة اللاسلكى الذين يستعملون مثل هذه الهوائيات الى ١٢٠ كيلو مترا .

ومع ذلك فقد عرفت حالات يستقبل فيها التلفزيون على مسافات أبعد بكثير ، وقد تمكن من هذا - أساسا - بعض هواة اللاسلكى الذين يعيشون بعيدا عن مراكز التلفزيون وذلك باستخدام هوائيات معقدة وعالية وأجهزة استقبال ذات حساسية عالية تستخدم مكبرات اضافية .

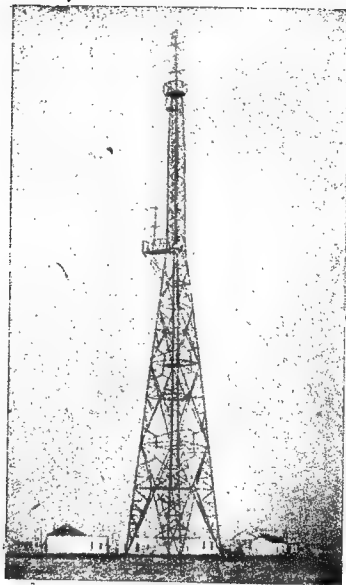
وهناك حالات معروفة تستقبل فيها الاذاعات بانتظام وبدرجة جيدة على مسافات تصل الى ٤٠٠ كيلو مترا وأحيانا الى ما يزيد على ١٠٠٠ كيلو مترا ، فمثلا هناك حالات قياسية تستقبل فيها محطات هولندية وإيطالية وتشيكية وألمانية بانتظام فى الاتحاد السوفيتى وكذلك الاذاعات السوفيتية فى بلجيكا وهولندا وسويسرا وإيطاليا (★) .

(★) زيادة الايضاح من الأيونوسفير انظر الفصل الأول .

(★★) تفصل الموجات القصيرة جدا بسرعة وراء المدى البصرى .

(★★★) وكذلك من المعروف أن اذاعات جمهورية مصر العربية تستقبل طوال

الصيف فى لبنان وسوريا الى أقصى شمالها بدرجة كبيرة من الوضوح كما وأن بعض الهواة بجمهورية مصر العربية يستقبلون اذاعات لبنان وسوريا والسعودية وإيطاليا والاتحاد السوفيتى خلال فترات معينة فى أشهر الصيف - ( للترجم ) .



( شکل ۱۲ ) : هوایی محطه ارسال تلویزیونی .

وقد خلقت هذه الحالات - التي سجلها هواة اللاسلكى - دافعا جديدا لعلم امتداد الموجات اللاسلكية ، فقد اكتشف الهواة مرة أخرى ظاهرة جديدة هامة تماما كما أثبتوا في أوائل العشرينات من هذا القرن امكانية اجراء اتصال لاسلكى عبر آلاف الكيلو مترات عن طريق الموجات القصيرة جدا ، والواقع أن العاملين على الرادار ذى الموجات المترية كانوا قد لاحظوا شيئا مشابها ( انظر الفصل الثالث ) ولكنها كانت حالات فردية كما وانها لم تلاحظ الا على سطح البحر ، واتضح انها حالات انكسار كلى للموجات اللاسلكية فى الجو ، مثل الانكسار الكلى البصرى الذى يسبب السراب ، وبالطبع لا يمكن اعتبار ظاهرة الانكسار الكلى النادرة نسبيا أساسا للاتصال اللاسلكى بعيد المدى .

وقد جذب امتداد الموجات اللاسلكية القصيرة جدا الى مسافات بعيدة - والذى تزايدت ملاحظة هواة اللاسلكى له - انتباه العلماء حتى أصبح موضوعا للبحث المنظم .

وقد اتضح أن الحالات المتزايدة للاستقبال التليفزيونى الى مسافات تصل الى عدة آلاف من الكيلو مترات وكذلك الاتصال بين الهواة على مسافات تصل الى ثلاثة أو أربعة آلاف كيلو مترا بأجهزة ارسال منخفضة القدرة لم تكن نتيجة للتحسين فى الأجهزة والمهارة فحسب ، بل ان هناك علاقة وثيقة بين حدوث هذه الظواهر واقترب قمة النشاط الشمسى .

ولقد لوحظ أن النشاط المتزايد للشمس يرفع من درجة التأين فى الأيونوسفير حتى أن الموجات المترية - التى تمر عادة خلاله الى خارج الغلاف الجوى للأرض - تنعكس أيضا عنه ، ويصاحب هذا عادة ارتفاع عشوائى محلى فى تأين الغلاف الجوى مما قد يسبب تغيرات كبيرة - فى الحالات المواتية - فى ظروف انتشار الموجات القصيرة جدا فى مسار معين .

ويفسر هذا كله عدم الاستقرار المميز لامتداد الموجات القصيرة جدا الى مسافات كبيرة . ويلاحظ هذا الامتداد الى مسافات بعيدة فى الصيف أكثر منه فى الشتاء . ويزيد احتمال هذا الامتداد مع زيادة النشاط الشمسى ولهذا يتغير دوريا طبقا لدورة الأحد عشر عاما للشمس .

وقد لوحظ أثناء التجارب على الاستقبال التليفزيونى على مسافة بعيدة تحسن فجائى فى الاستقبال يدوم لدقيقتين أو ثلاث ثم يعود الاستقبال الى ما كان عليه . وتحدث هذه الزيادة فى شدة الإشارة نتيجة لانعكاس الموجات القصيرة جدا على آثار الشهب . وقد استغلّت هذه

الظاهرة الهامة في تطوير نظام جديد للاتصالات يضمن درجة عالية من السرية وسنعود اليه في الفصل الرابع .

ونقل الاشارات التليفزيونية لمسافات بعيدة ، وكذلك لربط المدن الكبرى - بالاتصالات التليفونية والتلفرافية ، استخدمت خطوط سلكية تستخدم انواعا خاصة من كابلات الترددات العالية التي يمكنها أن تنقل الاشارات ذات النطاق المتسع من الترددات مثل اشارات جهاز ارسال التليفزيوني . ومع ذلك فلكابلات المتحدة المحور عيب خطير ، اذ تضعف الموجات اللاسلكية المارة في كابل متحد المحور بسرعة . ولهذا يجب قطع الكابل على مسافات تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ كيلو مترا لادخال صمامات مكبرة لتغذية الاشارات المكبرة الى القسم التالي .

وبالاضافة الى الكابلات المتحدة المحور ، تستخدم خطوط المتابعة اللاسلكية سواء للاتصالات او الاذاعات التليفزيونية . وتتكون الخطوط من سلسلة من محطات استقبال وارسال تعمل على الموجات السنتيمترية موضوعة في أبراج عالية ( شكل ١٣ ) . ويمكن أن تكون هذه المحطات منخفضة القدرة جدا لانها مزودة بهوائيات عالية الموجهية . فمثلا يصل مدى جهاز ارسال قدرته وات واحد وموضوع على برج ارتفاعه ١٠٠ متر الى حوالي ٧٠ - ١٠٠ كيلو مترا حسب طبيعة الأرض . وتعتبر خطوط المتابعة اللاسلكية وسيلة متقدمة للاتصالات ، لهذا ستضاعف المسافة الكلية لخطوط المتابعة اللاسلكية في البلاد ست مرات في خطة السنوات السبع القادمة .

وتعتبر زيادة المسافات بين محطات خطوط المتابعة اللاسلكية من الأفكار الجذابة جدا من الناحية الفنية ، اذ أن بناء هذه المحطات وتشغيلها في الأماكن البعيدة الغالية من السكان على التكاليف تسمييا . وقد أظهر البحث في ظاهرة الاستقبال التليفزيوني من مسافات بعيدة والتي اكتشفها هواة اللاسلكي أن مثل هذا الاستقبال ممكن جدا .

وقد وجد أن امتداد الموجات المترية الى مسافات كبيرة بدرجة غير عادية كان نتيجة لانتشارها في الأيونوسفير بسبب الاضطرابات العشوائية . وتزيد هذه الاضطرابات كثيرا في أشهر الصيف وعلى وجه الخصوص في فترات النشاط الشمسي الزائد ، وهذا يفسر عسدا كبيرا من حالات الاستقبال التليفزيوني على مسافات وصلت الى ٢٠٠٠ كيلو مترا ، ولكن هذا بالطبع لا يمكن استخدامه كأساس لانشاء خطوط اتصالات ثابتة ، ولكن أظهرت المشاهدات أن الموجات اللاسلكية السنتيمترية تنتشر أيضا بسبب الاضطرابات العشوائية ، ولكنها اضطرابات ذات طبيعة مختلفة

كما انها ليست فى الأيونوسفير وانما فى التروبوسفير ، الطبقة الأسفل من الأيونوسفير فى جو الأرض وبالتالي الأكثر كثافة .

وتنتج الاضطرابات فى التروبوسفير من تكون الدوامات التى تعرض الضغط فى المناطق المختلفة من التروبوسفير - وبالتالي الكثافة - لتغيرات عشوائية صغيرة ، مثلما تفعل الرياح العادية . وتسبب هذه التغيرات فى الكثافة انتشارا للموجات اللاسلكية المستقيمة بطريقة تشبه انتشار الضوء نتيجة لنقط الضباب . ومع ذلك فهناك فرق رئيسى بين هذا وذاك ، فان نقط الضباب - نظرا لانها أكثر كثافة من الهواء - تنشر الضوء بانتظام فى كل الجهات تقريبا ، أما الدوامات فى التروبوسفير فتغير الكثافة تغيرا طفيفا ولهذا تنشر الموجات اللاسلكية بطريقة مختلفة . فإذا شع هوائى محطة لاسلكية شعاعا ضيقا من الموجات اللاسلكية ، فان الانتشار نتيجة لاضطرابات التروبوسفير يزيد من عرض هذا الشعاع . ونتيجة لذلك فان بعض الموجات اللاسلكية المنتشرة تصل الى سطح الأرض فى أماكن وراء الأفق بكثير ، بالرغم من أن الشعاع الأصل للموجات اللاسلكية يستمر فى طريقه الى الفضاء .

وبالطبع سيستقبل هوائى الاستقبال الموضوع على مسافة ٣٠٠ أو ٤٠٠ كيلو مترا من محطة الإرسال جزءا صغيرا من الطاقة المشعة ، ولكن المهم هنا أن هذا الجزء مستقر بدرجة ملحوظة . وهذا يعنى إمكانية استخدامه فى الاتصالات المنتظمة . وقد أظهرت الأبحاث أن الطبيعة العشوائية الاستكاثية لهذا الانتشار كما يقول الفيزيائيون هى التى تضمن استقراره ، تماما كما تجعل التغيرات العشوائية فى كثافة الهواء السماء تبدو زرقاء ، ولكن بينما يمكن للسحاب - عن طريق حجب الطبقات العليا من الغلاف الجوى وانتشار الضوء الأبيض على دقائقها - أن يخفى زرقاء السماء ، فإنه لا يستطيع إيقاف الموجات اللاسلكية المتفرقة وقطع هذا النوع الجديد من الاتصالات .

وباستغلال ظاهرة انتشار الموجات المستقيمة نتيجة للاضطرابات الموجودة فى التروبوسفير يمكن إنشاء خطوط متابعة لاسلكية تصل المسافة بين محطاتها الى ٣٠٠ أو ٤٠٠ كيلو مترا غائمين بذلك اقتصادا كبيرا فى النفقات وحاصلين على اتصالات لاسلكية وإذاعات تليفزيونية عالية الجودة فى أقصى أطراف البلاد .

وقد اقترح - فى السنين الأخيرة - عدد من الطرق لزيادة مسعى الإرسال التليفزيونى أكثر من ذلك .



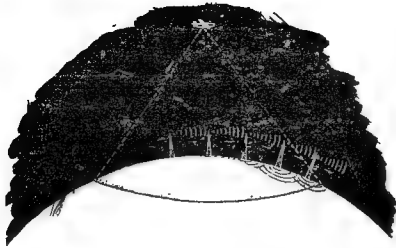
وقد أظهر الاقتصاديون - بالأرقام - أنه من الأرجح في بعض الأحيان رفع جهاز الإرسال التلفزيوني في هليكوبتر أو طائرة تطير في دائرة صغيرة على ارتفاع كبير بدلا من مد الكابلات أو بناء خطوط المتابعة اللاسلكية ، اذ يصل مدى جهاز الإرسال التلفزيوني الموضوع في هليكوبتر يطير على ارتفاع عشرة كيلو مترات - بدون اعتبار الانكسار في الموجات - الى ٥٧٥ كيلو مترا ، بينما يصل الى ٨٠٠ كيلو مترا إذا كانت الطائرة على ارتفاع ٢٠ كيلو مترا فإذا أدخلنا انكسار الموجات في الاعتبار يزيد المدى على ذلك بمقدار ٢٠ الى ٢٥٪ . ويمكن - هندسياً - عمل معدات من هذا النوع بحيث تكون أوتوماتيكية تماما ، فتتم جميع العمليات المطلوبة لتشغيل المحطة بما فيها اقلاع الطائرة وطيورها وهبوطها وتشغيل جهاز الإرسال بدون انسان . وقد حلت أثناء إحدى التجارب على الإرسال من طائرة تطير على ارتفاع ستة كيلومترات فوق ستوكهولم أن شوهت الإذاعة بوضوح على بعد ٥٠٠ كيلومترا .

ويقوم الاتحاد السوفيتي وكثير من البلاد الأخرى باستبدال الكابلات المتحمة المحور المستعملة في الاتصالات بعيلة المدى بأنابيب مجوفة تسمى الدلائل الموجية . فقد أظهرت الحسابات والتجارب أن أنواعا معينة من الموجات السنتيمترية والموجات المليمترية بالذات لا تضعف كثيرا أثناء انتقالها في أنابيب مستديرة ، وهناك ظاهرة مشابهة في الصوتيات ، اذ تستخدم أنابيب الكلام من أقدم العصور الى يومنا هذا لنقل الصوت بلا مجهود من غرفة القبطان على سطح السفينة الى غرفة الآلات أو من طرف مبنى الى الطرف الآخر .

ولا تحتاج خطوط الاتصالات الطويلة ذات الدلائل الموجية - نتيجة للتوهين القليل في شدة الإشارة - الا الى عدد قليل من المكبرات بالنسبة لخطوط الكابلات الحديثة ، وبهذا تكبر المسافات بين المكبرات مما يمكن من وضعها في الأماكن الآهلة بالسكان وبهذا تنخفض تكاليف انشاء هذه الخطوط وتشغيلها .

وتسمح قلة تكاليف خطوط الدلائل الموجية وارتفاع العول عليها بمنافسة خطوط المتابعة اللاسلكية بنجاح لأن خطوط المتابعة اللاسلكية المعتادة التي تفصل محطاتها مسافة تصل الى ٧٠ كيلومترا غالية التكاليف بينما تقل سعة الجديد منها الذي يستخدم انتشار الاشعاع عن سعة خطوط الموجات بعلة عشرات من المرات .

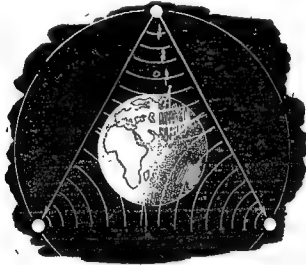
وستختبر - في السنين القليلة القادمة - وسيلة جديدة لزيادة



( شكل ١٣ ) : الإرسال التليفزيوني للمحطة العادية مدى يصل الى حوالى ٧٠ كيلومترا ،  
بينما يمكن أن يصل مدى محطة إرسال التليفزيونية في طائرة الى مايزيد على ٨٠٠ كيلومترا .

مجال تغطية الإرسال التليفزيوني ، وهي استخدام الأقمار الصناعية لهذا  
الفرض ( شكل ١٤ ) ( ★ ) .

١ هذا ولقد أظهرت الحسابات أنه اذا وصل قمر صناعي الى ارتفاع  
٣٥٠٠٠ كيلو مترا فانه يدور حول الأرض مرة كل ٢٤ ساعة وهذا يعنى .



( شكل ١٤ ) : الرسم التخطيطي لنظام تليفزيوني يستخدم الأتمار الصناعية .

( ★ ) كتب هذا الكتاب من سنوات . وقد تمت بالفعل تجربة الاتمار الصناعية في  
الإرسال التليفزيوني في الفلستار والطائر المبكر وما اشبهه - ( للترجم ) .

انه اذا اطلق مثل هذا القمر من مستوى خط الاستواء ، يتعلق بلا حركة فوق نقطة ثابتة من الأرض ، ولكن هذا القمر الصناعي « السالك » لن يثبت بالفعل فى مكان واحد بل سيدور ببطء حول الأرض - نتيجة لأنها ليست كرة كاملة - بحيث يتحرك درجة واحدة تقريبا كل أسبوع .

مثل هذه الحركة النسبية البطيئة لا تؤثر على الإرسال ، ولكن القمر الذى كان فى البداية فى السمى ( متعامدا فوق الرؤوس ) يختفى بعد سنتين تقريبا وراء الأفق ، فإذا أردنا تشغيلاً لهذا النظام يجب أن نطلق ثلاثة أقمار صناعية واحدا كل ثماني ساعات ، وكما يظهر من الرسم يمكن رؤية واحد منها على الأقل من أية نقطة على الأرض ، فإذا أرسل أحد هذه الأقمار اشاراته الى الآخرين فإن هذا يحل - من حيث المبدأ - مشكلة اذاعة برنامج معين على جميع نقاط الأرض فى وقت واحد .

### عود الى الصورة

يلتقط هوائى جهاز الاستقبال التليفزيونى العامل على الموجات القصيرة جدا الموجات اللاسلكية التى تحمل اشارات الصورة ، وهذا الجهاز يختلف عن جهاز الاستقبال الاذاعى العادى لا فى أنه يعمل على الموجات القصيرة جدا فحسب ، بل أيضاً فى أنه يستطيع امرار كل نطاق الترددات اللازم لاعادة انتاج الصورة بلا تشويه .

ويقوم جهاز الاستقبال بكشف الموجات اللاسلكية ، أى يفصل اشارات الصورة ( او الاشارات المرئية ) عنها ، وتسלט هذه الاشارات على قطب التشكيل فى أنبوب أشعة الكاثود ( أنبوب الصورة ) فى جهاز الاستقبال .

ويشبه هذا الأنبوب فى مظهره قارورة زجاجية رقيقة الجدران ذات رقبة طويلة وقاع محدب قليلا . ويفرغ هذا الأنبوب من الهواء ويوجد فى نهاية الرقبة مدفع الكترونات يشبه ذلك المستخدم فى أنبوب الكاميرا . ويصطدم شعاع الالكترونات الخارج من المدفع بمرکز قاع الأنبوب ، ويضئ هذا القاع بمادة فلورية خاصة تنوهج عندما تصطدم بها الكترونات ذات سرعة عالية ، وتنوهج شاشات التليفزيون المستخدمة حالياً بضوء أبيض . ويرى شعاع الالكترونات ، كما فى أنبوب الكاميرا تماماً بين ألواح انحراف وهو فى طريقه من المدفع الى الشاشة ، وتزود هذه الألواح أيضاً بفلفطيات من مولدات خاصة تجعل الشعاع ينحرف رأسياً وأفقياً (★) .

---

(★) بالإضافة الى الانحراف الاستاتيكي الكهربائى المذكور ، تستخدم انابيب الصورة غالباً الانحراف المغناطيسى الكهربائى .

وتناظر حركة شعاع الالكترونات فى أنبوب الصورة حركة الشعاع فى أنبوب الكاميرا تماما - ولضمان ذلك فان جهاز الارسال التليفزيونى يرسل اشارات مزمنة خاصة بالإضافة الى اشارات الصورة وفى نفس الوقت معها . وتجعل هذه الاشارات الاشعة الالكترونية فى جميع أجهزة الاستقبال تبدأ مسح أول خط فى الصورة فى نفس الوقت الذى يقوم فيه الشعاع الالكترونى فى أنبوب الكاميرا بمسح أول خط فى الفسيفساء .

فاذا لم توجد اشارات المزامنة لحظة بداية هذه الحركة وسرعتها ، فان الصورة تظهر مشوهة ، فمثلا يمكن أن يظهر هذا التشويه - المعروف فى السينما أيضا - والذى تبدو فيه الصورة مقطوعة نصين الأسفل منها فوق الأعلى .

وكما ذكر من قبل ، تسلط اشارات الصورة على قطب التشكيل فى أنبوب الصورة . ويمنع هذا القطب الالكترونات من مفادرة المدفع فى حالة عدم وجود إشارة ، ونتيجة لهذا تظل شاشة الأنبوب مظلمة .

فاذا سقطت صورة على فسيفساء أنبوب الكاميرا ، تظهر على قطب التشكيل فى أنبوب الصورة فلطية تزيد كلما زادت شدة الضوء الساقط على الجزء المناظر فى الفسيفساء . وهذا يدفع تيارا من الالكترونات من مدفع الالكترونات ، ويتناسب هذا التيار مع فلطية التشكيل ولما كان توجه أية بقعة على الشاشة يعتمد على عدد الالكترونات التى تصطدم بها ، فان توجه الشاشة يتناسب مع اضاءة البقعة المناظرة على فسيفساء أنبوب الكاميرا .

وبهذا نرى أنه نتيجة للعمل المتزامن ( فى وقت واحد ) لداثرتى المسح فى جهازى الارسال والاستقبال ، فان الصور الدقيقة للأشياء الموضوعة أمام عدسة الكاميرا يعاد تكوينها على شاشات أجهزة الاستقبال التليفزيونى .

ونظرا لأن معدل ارسال الصور التليفزيونية هو ٢٥ صورة فى الثانية ، فانه يمكن إعادة تكوين الصور المتحركة والثابتة .

وتصنع أجهزة تليفزيونية عالية الجودة متعددة الأنواع فى الاتحاد السوفيتى ومعظمها مزود بأنابيب مسور يزيد قطرها على ٣٠ ★ مستقيمترا ، والأجهزة الأخيرة منها أصغر حجما وأخف وزنا من الأنواع

المسابقة كما أن استهلاكها الكهربائي أقل . فمثلا نجد أن طراز روبين الذى قطر شاشته ٤٣ سنتيمترا أخف وأصغر من طراز تمب - ٢ الذى قطر شاشته ٤١ سنتيمترا ، كما أن استهلاكه الكهربائي أقل منه . أما الجهاز طراز يانتار الجديد فقطر شاشته ٥٣ سنتيمترا .

ولجهاز التلفزيون موسكفا أكبر شاشة ، وهو من نوع الاسقاط ، فتولد صورته على أنبوب خاص ذى شاشة صغيرة يصل قطرها الى ستة سنتيمترات فقط ولكنها شديدة الإضاءة، ثم تسقط الصورة بواسطة مجموعة بصرية خاصة على شاشة أبعادها ٠.٩ × ١.٢ مترا . وقد أظهرت التجربة أنه فى قاعة مظلمة ، يمكن أن يشاهد هذه الشاشة ٢٠٠ متفرج فى وقت واحد . وهذا الجهاز مناسب بصفة خاصة للنوادر والاستراحات لأنه مزود بجهاز للتحكم من بعيد بحيث يمكن التحكم فيه من الجانب المقابل من القاعة .

## التلفزيون الملون

اقترح المهندس السوفيتى ى ١٠ . أكميان سنة ١٩٢٥ أو طريقة لإرسال الصور الملونة باللاسلكى . وكانت هذه الطريقة تعتمد على المسح الميكانيكى باستخدام قرص تيبكوف ومرشحات ملونة دوارة ، وكان هذا مناسباً للمستوى العام للتلفزيون فى ذلك الوقت .

لما الآن فهناك الكثير من الطرق المختلفة للحصول على التلفزيون الملون ، وكثير منها إرساله على الجودة كما تستخدم أجهزة بسيطة نسبيا ، ولكن عند اختيار أحسن الطرق يجب على المهندسين ألا ينظروا الى المشاكل الهندسية فحسب بل أيضا الى اهتمامات الملايين من مشاهدى التلفزيون الذين يمكن أن يكون التلفزيون الأبيض والأسود . ومن المعروف به عموماً أن أكثر الطرق ملائمة هى تلك التى تسمح باستقبال التلفزيون الملون بواسطة الأجهزة العادية بالأبيض والأسود بدون أى تغيير فى الجهاز ، وكذلك يجب أن تسمح الطريقة المستخدمة فى الإرسال الملون باستقبال الإرسال الأبيض والأسود على الأجهزة الملونة .

ولكن كيف يتم إرسال واستقبال الصور الملونة ؟ تستغل معظم أجهزة التلفزيون حساسية العين للألوان المركبة التى اكتشفها نيوتن . فقد وجد أنه يمكن خلط أى لون باللون المتم له لإنتاج اللون الأبيض .

والألوان المتتامة هي النيلي مع الأصفر والأزرق مع البرتقال والأخضر مع الأرجواني وبعض الألوان الأخرى . وقد استخدمت هذه الخاصية منذ زمن بعيد في طبع الصور الملونة . فباستخدام لونين من مجموعة الألوان المتتامة ، يمكن الحصول على صورة ملونة جيدة . ويخلط هذين اللونين بنسب مختلفة يمكن الحصول على ألوان بيئية مختلفة .

وللمحصل على صور ملونة عالية الجودة يجب استخدام ثلاثة ألوان ، الأحمر والأخضر والأزرق مثلا ، أو الأحمر والأصفر والأخضر . وتستخدم طريقة الألوان الثلاثة هذه حاليا في الأفلام السينمائية الملونة والتصوير الفوتوغرافي وفي معظم دور معظم الطباعة التي تطبع الصور الملونة .

وتستقبل العين الصور الملونة المركبة ليس فقط عندما تضاف الألوان الأساسية الى بعضها البعض بل أيضا عندما يتبع الواحد منها الآخر بسرعة ، وهذا بسبب مداومة العين التي ذكرناها من قبل .

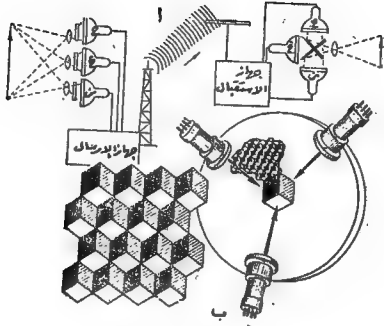
وعليها لهذا يمكن تقسيم نظم التلفزيون الملون الى قسمين رئيسيين ، تظهر الألوان المتزامنة ونظم الألوان المتتابة حيث ترسل الألوان الأساسية الواحد منها بعد الآخر .

ثم يمكن تقسيم هذه النظم ثانياً وفق ما اذا كانت تستخدم ثلاثة أنابيب منفصلة كل منها مختص بلون واحد ثم تخلط الألوان بصريا لتكون الصورة أو ما اذا كانت عناصر الألوان المختلفة توضع بترتيب خاص على شاشة أنبوب واحد وتكون هذه العناصر من الصفر بحيث لا تراها العين ولكنها تخلط ببعض لتكون صورة ملونة ( شكل ١٥ )

وقد اضطرت احتياجات التلفزيون الملون الفيزيائيين لإيجاد أنواع جديدة من المواد الفلورية التي تولد ألواناً أساسية نقية ناصعة عندما تصطدم بها الإلكترونات .

وفي النظم التي تخلط فيها الصور بصريا ، تغطي شاشات الأنابيب الثلاثة بثلاثة أنواع مختلفة من المواد الفلورية بحيث لو نظرنا الى كل صورة على حدة لرأيناها أحادية اللون . أما اذا نظرنا الى جهاز الاستقبال فاننا نرى الصور الثلاثة كلها مضافة بعضها الى بعض في وقت واحد ، ونتيجة لهذا نرى الصورة ملونة بألوانها الطبيعية .

وتستخدم بعض نظم التلفزيون الملون أنبوباً واحداً لأشعة كاثود تولد الصورة الملونة على شاشته مباشرة . وهناك عدة طرق لذلك ، وتعتمد جميعها على أن العناصر أحادية اللون للصورة تكون صغيرة حتى



( شكل ١٥ ) : تكوين الصور الملونة

١ - إضافة ثلاث صور أحادية اللون • ب - الأنوب التكوين الملون

أن العين لا تستطيع أن ترى كلا منها على حدة إذا نظرت إليها من مسافة متر أو ١٥ متر فأكثر بل تندمج في صورة واحدة ملونة •

وتتكون شاشة مثل هذه الأنابيب من كمية كبيرة من إهرامات ثلاثية تغطي الجوانب المتشابهة منها بنفس النوع من المادة الفلورية وتقذف بالالكترونات من واحد من ثلاثة مدافع الكترونات ، وهناك أنواع أخرى توضع فيها المواد الفلورية المختلفة على هيئة أشربة ضيقة متوازية وهكذا •

وبالطبع تكون شاشات أنابيب أشعة الكاثود المستخدمة في أجهزة التليفزيون الملون معقدة جدا حتى أنه وجد من غير المربح إنتاج أنابيب صغيرة نظرا للدقة العالية المطلوبة • ويبدو أن أكثر أجهزة الاستقبال شيوعا متزود بأنابيب يصل قطرها الى نصف متر •

ومن البديهي أن تركيب الصورة الملونة أعقد من تركيب الصورة بالأبيض والأسود • لهذا يجب أن ترسل الإشارات المناسبة لكل من الألوان الأساسية الثلاثة إذا أريد الحصول على استقبال صحيح للصورة

باستخدام نظام الألوان الثلاثة وهذا بالطبع يتضمن زيادة عدد الاشارات المراد ارسالها أو كما تعود رجال اللاسلكي أن يقولوا ، يجب زيادة حجم البيانات المراد ارسالها . ويبدو لأول وهلة أن زيادة حجم البيانات مع الاحتفاظ بالقيم القياسية ( ٢٥ اطارا في الثانية و ٦٢٥ خطا في الصورة ) قد يتطلب مضاعفة نطاق ترددات اشارة التلفزيون ثلاث مرات ، وقد كان من المحتمل أن يكون هذا هو الحل بالفعل لو لم يكتشف مهندسو الراديو امكانيات رائعة استنبطت من أعمال الاكاديمي كوتلنيكوف والعلماء الأمريكيين فيتر وشانون وآخرين .

فقد ظهر أن نظم التلفزيون الحديثة مسرفة جدا في استخدام نطاقات الترددات المخصصة لها ، إذ يحتوى النطاق المتسع الذى ينبغ سعة ملايين ذبذبة في الثانية والذى تشغله كل قناة تليفزيونية على قطاعات خالية من الاشارات تقريبا . وتمثل هذه القطاعات حيزا اضافيا يمكن استخدامه في ارسال الصور الملونة بدون زيادة نطاق الترددات الكلى .

ويمكن - باستغلال خواص العين البشرية - استخدام نطاق من الترددات اقصى بكثير من ذلك المطلوب نظريا . وقد ذكرنا احدى هذه الخواص عندما تكلمنا عن المسح المتشابه الذى استخدم لازالة الارتعاش في الصورة بدلا من مضاعفة التردد الاطارى ( الذى يعنى مضاعفة نطاق الترددات ) .

فقد وجد أن العين لا تستطيع تمييز ألوان التفاصيل الصغيرة ، وبالتالي لم تعد هناك حاجة لتكوينها . والواقع أن هذه التفاصيل هى التى تشغل القطاع عالى التردد من النطاق المخصص للقناة التليفزيونية . وبهذه المناسبة تستخدم هذه الخاصية للعين بكل نجاح فى الطباعة الملونة . حيث تطبع التفاصيل الصغيرة للصور الملونة باللون الأسود العادى دون أن تفقد الصورة جودتها . وبهذا لا يلزم ارسال الألوان الا للمساحات الكبيرة نسبيا وهى التى تناظر الترددات المنخفضة . وفى نظم التلفزيون الملون الجارى تطويرها الآن ، يحاول الباحثون تقريب نطاقات الترددات المخصصة للألوان بعضها من بعض مما يجعل توزيعها أكثر اتفاقا مع المنطق .

ويمكن اعطاء فكرة عن الطرق المستخدمة لتضييق نطاق التردد - التى مهلت نظرية المعلومات لها - من المثال التالى . لنفرض أن الصورة المراد ارسالها منظر بحرى يتكون من سماء فاتحة اللون متجانسة وبحر



داكن اللون . ففي النظم الحالية ترسل اشارة تدل على شدة اضاءة كل نقطة في الصورة بينما لا تتغير شدة الاضاءة في مثالنا هذا الا مرة واحدة فقط في كل اطار ، وذلك عند الانتقال من السماء الى البحر بينما تقترح نظرية المعلومات ارسال بيانات شدة اضاءة أول نقطة في الصورة ثم عندما تتغير بعد ذلك فقط ، وهذا يعنى أنه بالنسبة لمثالنا هذا ينخفض عدد الاشارات المرسله من نصف مليون كل اطار الى اثنين فقط ، وهذه بالطبع حالة قصوى . ولا يتطلب الأمر تحليلا احصائيا لمعرفة ما اذا كانت صورة ما تحتوى على مساحات متجانسة كبيرة أو صغيرة وانما تكفى لذلك نظرة واحدة .

وليس هناك شك في أن ارسال اشارات تدل على تغير الألوان والاضاءة أوفر بكثير من ارسال اشارات الألوان والاضاءة لكل نقطة .

وبتطبيق اساليب نظرية المعلومات يمكن حل مشكلة التوفيق بين نظم التلفزيون الملون وتلك المستخدمة حاليا في التلفزيون الأبيض والأسود . وبالتالي ستتمكن هذه النظرية من تحسين جودة الصور التلفزيونية الى حد يجعلها في مستوى أحسن الأفلام الملونة في عصرنا الحاضر .

## ماوراء الحدود المنظورة

ان الأهمية الثقافية والعملية لتطوير التلفزيون الى ما هو عليه الآن واضحة ، ولكن التلفزيون أداة قيمة للغاية في العلم والهندسة .

فان الفيسفساء الحساس للضوء - مثله في ذلك مثل الخلية الضوئية العادية - ليس حساسا للضوء المرئي فحسب بل أيضا للأشعة فوق البنفسجية غير المرئية وكذلك للأشعة تحت الحمراء ذات الأهمية الخاصة . وتسمى الأشعة تحت الحمراء وأحيانا الأشعة الحرارية لأنها تنبعث بكميات كبيرة من جميع الأجسام الساخنة حتى لو كانت درجة حرارتها أقل من أن تبعث ضوءا مرئيا .

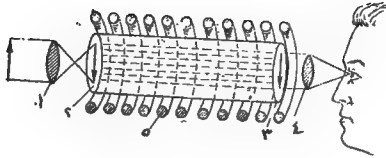
فاذا وضعت قطعة من الحديد الساخن أو إبريق ساخن في غرفة مظلمة تماما على مائدة أمام جهاز ارسال تلفزيونى ذى أنبوب كاميرا حساس للأشعة تحت الحمراء ، فإن من يقف بجانب جهاز الارسال لا يراها بينما تظهر صورتها على شاشات أجهزة الاستقبال التلفزيونى .

وتظهر هذه القطع المعدنية الساخنة للمشاهدين كما لو كانت مضادة بضوء أو ساخنة لدرجة البياض بحيث تبعث ضوءها الخاص ، وهذا نتيجة لسقوط الأشعة تحت الحمراء غير المرئية التي تبعثها الأجسام الساخنة على الفسيفساء الحساس للضوء والموجود في أنبوب الكاميرا .

وتستطيع الأشعة تحت الحمراء أن تخترق السحب والضباب والدخان أكثر من الضوء المرئي ، ولهذا يمكن أن يكون لتلفزيون ذا فائدة عظيمة في اكتشاف الطائرات والدبابات ليلا أو في السحاب أو الضباب وذلك بواسطة الأشعة تحت الحمراء التي تشعها مواشير العادم الساخنة ومداخل السفن . ومن الخواص الهامة لهذا الاستخدام للتلفزيون ، أن عامل تشغيل التلفزيون يمكنه أن يظل مختبئا بغير أن يشعر به أحد لأنه لا يبعث أى إشعاع ، بعكس الرادار الذي سفتناوله بالبحث في الفصل القادم . ويمكن زيادة كفاية هذه الطريقة للمراقبة باستخدام أضواء كاشفة قوية تشع الأشعة تحت الحمراء فقط . وتنعكس هذه الأشعة - كاشعة الضوء - عن الأجسام المختلفة بدرجات مختلفة . وباستخدام ضوء كاشف ، يشع الأشعة تحت الحمراء ، مع كاميرا تلفزيونية ، يمكن رؤية الأجسام الباردة وملاحظة المنطقة المحيطة بالكاميرا في أى جو (★) .

وبهذا يمكن التطور في تقنيات التلفزيون من حل مشكلة الرؤية في الظلام . وأساس عمل أنابيب « الرؤية الليلية » فى غاية البساطة ( شكل ١٦ ) . والجزء الرئيسى فى الأنبوب عبارة عن غلاف اسطوانى من الزجاج مفرغ من الهواء ويغطى أحد سطحيه المستويين من الداخل بطبقة من السيزيوم وتعمل ككاثود ضوئى . ويغطى السطح المستوى الآخر بمادة فلورية تشبه تلك المستخدمة فى شاشات أنابيب أشعة الكاثود ، ويتصل الطرف السالب للبطارية التى تغذى الأنبوب بالكاثود الضوئى بينما يوصل الطرف الموجب بالشاشة . وبهذا تنجذب الإلكترونات المنبعثة من الكاثود إلى الشاشة بسرعة تتزايد أثناء الطريق تزايدا يعتمد على غلظية البطارية . ويوضع الأنبوب بأكمله فى مجال مغناطيسى متجانس فى اتجاه محور الأنبوب ، ويشترط أن تكون قيمة هذا المجال واتجاهه واحدا فى جميع النقاط ، ويضمن التأثير المشترك للمجال المنتظم والبطارية المتصلة بالأنبوب سقوط جميع الإلكترونات المنبعثة من نقطة ما على الكاثود على النقطة المناظرة من الشاشة دون سواها .

(★) وفى هذه الحالة يمكن ، بالطبع ، أن يكشف هذا الضوء الكاشف باستخدام أجهزة حساسة للأشعة تحت الحمراء .



( شكل ١٦ ) : أنابيب الرؤية الليلية •  
 ١ - عدسة  
 ٢ - كاثود ضوئي  
 ٣ - شاشة فلورية  
 ٤ - العينية  
 ٥ - ملف •

فإذا استخدمت عدسة لاسقاط صورة الهدف على الكاثود الضوئي ،  
 تبعث النقط المختلفة للكاثود كميات مختلفة من الالكترونات حسب شدة  
 اضاءة النقط المناظرة في الصورة • ونتيجة للخاصية المذكورة سابقا  
 للمجال المغناطيسي ، تظهر صورة على الشاشة تناظر تلك الساقطة على  
 الكاثود الضوئي ، لأن كل نقطة على الشاشة تتلقى الالكترونات من النقطة  
 المناظرة على الكاثود ، وهذا يعني أن درجة اضاءة كل نقطة تعتمد على  
 شدة استضاءة النقطة المناظرة في الصورة •

وبما أن الكاثود لا يستجيب للضوء المرئي فحسب بل للأشعة تحت  
 الحمراء أيضا ، فإن هذا الأنبوب يمكنه تحويل الصورة غير المرئية المكونة  
 بالأشعة تحت الحمراء الساقطة على الكاثود الضوئي الى صورة مرئية على  
 شاشة الأنبوب •

وبهذا يمكن لشخص مزود بأنبوب من هذا النوع أن يرى بالليل  
 المنطقة المحيطة به ، بحيث يرى ما حوله كما لو كان ينظر في منظار  
 تجسس في النهار تقريبا ، ويضاف عادة الى مثل هذه الأنابيب مشعل  
 صغير يشع شعاعا رفيعا قويا من الأشعة تحت الحمراء •

كما يمكن التليفزيون أيضا من مراقبة الماكينات والآلات من بعيد  
 أثناء عملها ، وكذلك العمليات المختلفة التي تحدث في ظروف تمنع وجود  
 الانسان قريبا منها •

فمثلا ، من المعروف جيدا أن العمليات المختلفة التي تحدث في  
 المناطق النشطة من المفاعلات الذرية يصعب أن تتم بواسطة آليات يتم التحكم  
 فيها من بعيد ، وليس من الملائم دائما ملاحظة هذه الآليات من خلال  
 تقرب ، وفي هذه الحالات تكون المعدات التليفزيونية عظيمة الفائدة •

وكذلك يمكن ادخال كاميرات التلفزيون الصغيرة في ثعوب في  
الجوانب للكشف عليها .

ويمكن لعمال المراقبة في السكك الحديدية مراقبة أكثر نقاط الاتصال  
ازدحاما بالاستعانة بالتلفزيون ، وقد تمت تجربة من هذا النوع بنجاح  
في نقطة اتصال للسكة الحديدية في الاتحاد السوفيتي .

ومن الاستخدامات القيمة بالنسبة للجراحين ، إمكان مشاهدة  
العمليات التي يقوم بها الاختصاصيون المهرة مثل جراحات القلب ، اذ لسوء  
الحظ ، لا يمكن أن يحضر مثل هذه العمليات الا عدد محدود في الوقت  
الواحد ، وهنا يحل التلفزيون المشكلة ، اذ تسلط عدسة كاميرا  
التلفزيون على مكان العملية ، بينما تشاهد الجماعات من الأطباء وطلبة  
الطب العملية على شاشات التلفزيون أو على شاشات الاستقاط . وقد  
اذيعت بالفعل مثل هذه العمليات التي اشترك فيها مركز تلفزيون  
لينينجراد والكلية الطبية العسكرية في كبروف منذ يناير سنة ١٩٥٣ ،  
أما الآن فيستخدم التلفزيون الملون في نقل العمليات الجراحية .

أما عالم المحيطات فان المعلومات عنه قليلة بقدر ما هو هام ،  
وتستطيع كاميرا التلفزيون اذا وضعت تحت سطح الماء أن تصبح  
مشاهدا غير طفيف للحياة في الأعماق . وبهذا يمكن العثور على السفن  
الفارقة بأسرع مما يستطيع القواصون ، ويحكم سد الكاميرا بالنسبة للماء  
بحيث يمكنها ان تبقى تحت الماء بقدر ما يلزم .

وتستخدم الكاميرات التلفزيونية بنجاح في رفع السفن والطائرات  
الفارقة ، فيحدد مكان المركبة الفارقة أولا بواسطة كاشفات المعادن ثم  
تفحص فحفا دقيقا باستخدام كاميرا تلفزيونية ، وتساعد الكاميرا على  
التأكد من موقعها في القاع والعثور على الثقوب وفحصها والاشراف على  
عمليات الرفع . وقد أمكن بهذه الطريقة رفع سفن وطائرات من أعماق  
وصلت الى ٣٠٠ متر ، الأمر الذي كان مستحيلا بالطرق القديمة .

وسيلعب التلفزيون دورا هاما في رحلات الفضاء التي ستتم في  
القريب العاجل ، اذ ستطلق أولى سفن الفضاء بدون طاقم ، ثم بعد  
استكشاف الكواكب بواسطة التلفزيون والأجهزة الأخرى يمكن للانسان  
أن يبدأ رحلاته في الفضاء (★) .

---

(★) وقد بدأ هذا بالفعل ، وكلمنا نعرف نتائج أولى التجارب التي صور فيها القمر  
بالتلفزيون - ( المرجع ) .

## الرادار

### فيزياء الرادار

توصلت عدة دول الى الرادار في وقت واحد تقريبا وقامت بتطويره تحت ستار من السرية التامة ، فقد بدأ العمل في هذا المجال في بداية الثلاثينيات في الاتحاد السوفيتي ، وفي عام ١٩٣٥ في الولايات المتحدة وبريطانيا ، وقد كان أول من نجح في هذا المضمار جماعة من العلماء السوفيت بإشراف ي . ب . كوبزاريف العضو المراسل في أكاديمية العلوم بالاتحاد السوفيتي . وكانت هذه الجماعة قد بدأت في تصميم محطة لتحديد المواقع باستخدام النبضات اللاسلكية في سنة ١٩٣٥ . وفي بداية الحرب العالمية الثانية كان لدى بريطانيا والمانيا والولايات المتحدة محطات رادار أيضا .

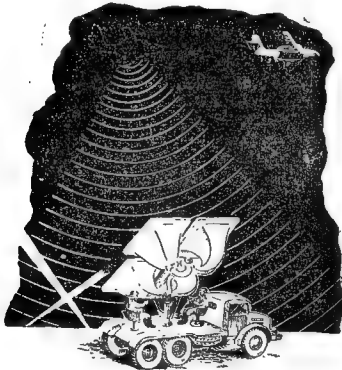
والرادار سلاح غير عادي . فان محطة الرادار لا تسقط الطائرات بنفسها ، ولا تفرق السفن ، ولا تدمر القدرة الآدمية أو الماكينات ، ولكنها اذا تضامنت مع أى نوع من الأسلحة فانها تعطيه إمكانيات جديدة غير متوقعة .

ففي البحر - كما في الجو - أدخل الرادار تغييرا جذريا على طرق القتال ، لقد اضطر الأدميرالات الألمان للاعتراف بأن الرادار حول الغواصات من صائدة الى ضحايا .

وتحديد المواقع باللاسلكي ، أو الرادار ( وهي اختصار التعبير الانجليزي الذي ترجمته : (الاكتشاف وتحديد المواقع باللاسلكي) (★) هو وسيلة لتحديد أماكن الأهداف بواسطة الموجات اللاسلكية ، وتستعمل في هذا المجال أقصر الموجات اللاسلكية ، تلك التي تتراوح بين عدة أمتار الى عدة ديسيمترات بل سنتيمترات .

وتشع هذه الموجات هوائيات خاصة فى أشعة ضيقة تشبه أشعة  
الأضواء الكاشفة . ومن السمات المميزة لجهاز إرسال الرادار انه  
لا يرسل الموجات اللاسلكية باستمرار وإنما فى نبضات قصيرة ،  
ويستقبل جهاز استقبال الرادار الموجات اللاسلكية المنعكسة من الهدف  
فى الفترات بين هذه النبضات ، وتمكن الموجات اللاسلكية المنعكسة عامل  
التشفيل من تحديد مكان الهدف ، وفى بعض الأحيان رؤية صورته  
أيضا .

ومن المعروف أن ظهور سلاح جديد سرعان ما يكون سببا فى ابتكار  
الوسائل للتغلب عليه ، فعندما تمكنت الطائرات من الطيران ليلا وفوق  
السيحاب ، ظهرت أجهزة لتحديد المكان باستخدام الموجات الصوتية  
امكنها تحديد اتجاه الطائرة غير المرئية ، ولكن عندما زادت سرعة  
الطائرات الى أكثر من ٥٠٠ كيلو مترا فى الساعة ، لم تعد أجهزة تحديد  
المكان باستخدام الموجات الصوتية صالحة لتحديد مكان الطائرة تحديدا  
صحيحا ، فحتى يصل صوت محركات الطائرة الى هذه الأجهزة تكون  
الطائرة نفسها فى مكان آخر ، وبهذا تكون الطائرة - أينما وجدت - قد



( شكل ١٧ ) : يعطى الجهاز الصوتى تحديد الأماكن بيانا غير صحيح عن مكان الطائرة .

• هربت ، بالفعل من صوتها ( شكل ١٧ ) • وبهذا أصبح لزاما استبدال أجهزة تحديد الموقع الصوتية بأجهزة أخرى تصل طبقا لنظرية مختلفة .

وفي ذلك الوقت ، كانت البحرية تشعر أيضا بحاجتها لطريقة جديدة لتحديد أماكن الأهداف ، بحيث يمكن بواسطتها اكتشاف السفن على مسافات بعيدة وفي الضباب ليلا ونهارا .

وكانت طريقة حل هذه المشكلة قد وجدت - من حيث المبدأ - منذ زمن طويل ، ولم يجدها سوى مخترع الراديو ألكسندر بوبوف بنفسه . فعندما كان بوبوف يقوم بتجارب على الاتصال اللاسلكي في خليج فنلندا ، لاحظ أن السفن التي تمر بين جهازي الإرسال والاستقبال تغير شدة الإشارة بشكل ملحوظ ، وقد توصل بوبوف في الحال إلى أنه يمكن استخدام هذه الظاهرة في مراقبة دخول السفن إلى الخلجان وحراسة الممرات المائية ، وحيثما كان اكتشاف وجود السفن والأشياء الكبرى الأخرى ضروريا .

وبعض عدد قليل من السنين على يده تطوير الهندسة اللاسلكية في عدد من البلاد ، كانت هناك كثير من براءات الاختراع التي تشرح طرقا مختلفة لاستخدام الموجات اللاسلكية في الكشف عن السفن • وكانت بعض هذه الطرق مدروسة بتفصيل كبير ، وفي عدد من الحالات قادت إلى نفس الأسس الموجودة في محطات الرادار الحديثة •

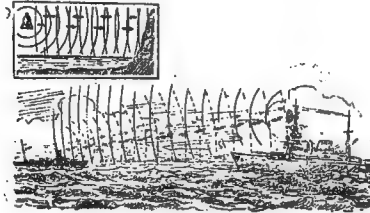
ومع ذلك لم يتمكن الرادار من التطور بالسرعة التي تطورت بها الاتصالات اللاسلكية • وكان هذا نتيجة للعدد الهائل من العقبات الفنية التي واجهت تطوير محطات الرادار •

وسنرى سريعا أن الرادار قد احتاج إلى تصميم أنواع خاصة من الصمامات الإلكترونية وهوائيات غير عادية وأدوات أخرى خاصة ، ولولا أنابيب أشعة المهبط التي أدخلت عليها التحسينات اللازمة لتفي باحتياجات التليفزيون لما وجد الرادار الحديث •

والآن ، ما هي السمات الأساسية لجهاز الرادار الحديث ؟

يشع جهاز الإرسال اللاسلكي المعتاد الموجات اللاسلكية في كل الاتجاهات بنفس الطريقة التي يشع بها المصباح المتوهج الضوء • وبنفس الطريقة ينتشر صوت الصفارة البخارية أو السريشة أو الجرس في كل الاتجاهات • وينعكس جزء من الموجات اللاسلكية مثلما يفعل جزء من الضوء أو الصوت على الأشياء المحيطة ويعود إلى مصدره ، ولكن تكون هذه الموجات المنعكسة ضعيفة جدا ويصعب تمييزها من الإشارات القوية المرسله •

ومن هذا استنتج العلماء أنه إذا أريد استقبال الصدى اللاسلكي  
( الموجات اللاسلكية المنعكسة من الأشياء المختلفة ) بنجاح ، يجب أن  
يرسل جهاز الإرسال إشارات قصيرة ، أو نبضات ثم يستقبل الصدى  
في الفترات التي تمر بين النبضات ( شكل ١٨ ) • ونحن في الواقع



( شكل ١٨ ) : صدى الصوت والصدى اللاسلكي •

نقوم بنفس الشيء إذا أردنا الاستماع الى صدى الصوت ، فنصبح أولا  
ثم نصت للصدى •

وللعمل بنبضات قصيرة ميزة أخرى ، إذ يمكن لجهاز الإرسال الذي  
يرسل النبضات أن يشع قدرة أكبر بمشرات ، بل مئات المرات مما في  
حالة التشغيل المستمر مع الاحتفاظ بنفس حجم الجهاز ووزنه تقريبا •

وحتى تنعكس الموجات اللاسلكية على الهدف انعكاسا ملحوظا ،  
يجب أن يكون طولها أقصر من أبعاد الهدف ، وكلما قصر طول الموجة زاد  
الانعكاس ، إذ تتخطى الموجات الطويلة الأشياء الصغيرة كما تتخطى  
أمواج البحر المرتفعات الصغيرة والأحجار • ولهذا السبب تتراوح أطوال  
الموجات المستخدمة في الرادار من عدة أمتار الى عدة سنتيمترات •

كذلك تعتمد دقة تحديد مكان الهدف المكتشف على طول الموجة  
المستخدمة • فكلما قصر طول الموجة زادت الدقة ، لهذا السبب تستخدم  
أجهزة الرادار التي تتحكم في إطلاق المنفعية مثلا الموجات السنتيمترية •

ومن ناحية أخرى يعتمد مدى جهاز الرادار على قدرة جهاز الإرسال  
فيه ، وليس من السهل الحصول على قدرات عالية للموجات السنتيمترية •



لهذا تستخدم أجهزة الرادار المصممة لاكتشاف الطائرات والسفن من مسافات بعيدة الموجات الأطول ( الموجات الديسيمترية أو حتى المترية ) حيث لا تكون الدقة العالية مطلوبة ، ولأنه من الأسهل الحصول على قدرات خرج عالية .

ومع ذلك ، فإكتشاف الإشارة المنعكسة فحسب لا يكفي ، فإن هذه الإشارة - مثلها في ذلك مثل صدى الصوت المعتاد - لا تبين أكثر من أنه هناك عقبة في طريق الموجات اللاسلكية أو الصوتية ، ولكن يجب أيضا معرفة مسافة هذا الهدف المكتشف واتجاهه .

ولتحديد الاتجاه ، نجد أن أحسن الحلول هو تقليد تصميم الضوء الكاشف ، فبدلا من أن نسمح للضوء بالانتشار في جميع الجهات ، يوضع مصدر الضوء أمام مرآة كبيرة ( عاكس ) تجمع الضوء كله في جزمة ضيقة ساطعة .

وكان هذا هو بالضبط ما فعله رجال اللاسلكي ، فقد وضعوا هوائي جهاز الإرسال في مركز ( بؤرة ) عاكس معدني كبير على شكل قطع مكافئ، وبهذا أصبحت الموجات اللاسلكية تشع في شعاع ضيق غير مرئي يحتوى على خرج جهاز الإرسال بأكمله تقريبا . وتسير مثل هذه الأشعة في خطوط تكاد تكون متوازية بدون أن تنتشر على الجوانب ، ونتيجة لهذا يحتفظ الشعاع اللاسلكي - مثل شعاع الضوء - بدرجة سطوعه إلى مسافات بعيدة مما يزيد من قوة الإشارة المنعكسة وبالتالي مدى الجهاز بأكمله .

ولزيادة المدى أكثر من ذلك ، يوضع هوائي الرادار المخصص لاستقبال اشارات الصدى أيضا في بؤرة عاكس معدني كبير ، ويستخدم عادة نفس هوائي الإرسال في الاستقبال ويوصل بجهاز الاستقبال أثناء التوقف عن الإرسال ، ويركز العاكس كل الموجات اللاسلكية الساقطة على سطحه على الهوائي مثلما تفعل مرآة التليسكوب ، وبهذا تزيد حساسية جهاز الاستقبال عدة مئات من المرات .

وبملاحظة الاتجاه الذي كان العاكس مائسيرا اليه عند استقبال اشارات الصدى ، يمكن تحديد اتجاه طائرة مقربة مثلا بدقة .

وبمناسبة الكلام عن العواكس يجب أن نذكر انه اذا أريد الحصول على أشعة ضيقة من الموجات اللاسلكية ، فانه يجب استخدام عواكس تزيد أقطارها كثيرا على أطوال موجات الاشارات التي تشعها المحطة ،

وكلما زاد القطر بالنسبة لطول الموجة قل انتشار الشعاع الذي تتركز فيه الطاقة المشعة ، ولهذا لم تظهر الهوائيات ذات العواكس الا بعد أن تعلم المهندسون كيفية الحصول على موجات لاسلكية طولها أقصر من متر .

وقد كان قطر العواكس الأولى أربعة أمتار ، استخدمت مع أجهزة الرادار التي كانت أطوال موجاتها حوالى ٥٠ سنتيمترا ، وقد كانت الحاجة للحصول على دقة أكبر فى تحديد الوضع الزاوى للطائرات بدون زيادة حجم العاكس أحد الأسباب الرئيسية للانتقال الى موجات أقصر ، اذ سمح هذا باستخدام عواكس أصغر بكثير ، مع الاحتفاظ بنفس الدقة . فمثلا اذا اريد الحصول على دقة كافية مع استخدام موجات طولها ثلاثة سنتيمترات ، يكفى استخدام عاكس قطره حوالى نصف متر فقط .

وبالطبع لا يكون عمليا استخدام عواكس للحصول على أشعة متوازية من الموجات اللاسلكية المستخدمة فى منشآت الرادار بعيد المدى الذى يعمل بموجات يزيد طولها على المتر ، لأن العاكس فى هذه الحالة يكون كبيرا جدا ، وهنا تستخدم مجموعات خاصة من الهوائيات تتكون من عدد كبير من هوائيات بسيطة متصلة بعضها ببعض .

ونحن نعلم أن الهوائى المعتاد يشع الموجات اللاسلكية فى جميع الاتجاهات ، فإذا رتب عدد من مثل هذه الهوائيات فى مستوى واحد وعلى مسافات تساوى نصف طول الموجة ثم وصلت بحيث تعمل جميعا معا ، فإن الموجات اللاسلكية التى تشعها الهوائيات المنفردة يضاف بعضها الى بعض ، ونتيجة لهذا تكون الموجات موجة واحدة مسطحة الشكل تقريبا . وتمتد هذه الموجة المسطحة بدون تشويه ملحوظ ، ولا يحدث انتشار تدريجى للطاقة الا عند حافة الشعاع حيث لا يكون شكل الموجة مسطحا بلوجة كبيرة .

وتسمح طريقة التشغيل بالنبضات بتحديد المسافة بين جهاز الرادار والهدف بسهولة .

وكلنا نعرف كيف يمكن أن تقدر المسافة بيننا وبين عاصفة واعدة ، فبعد الثواني التى تنقضى من لحظة أن نرى ومضة البرق الى أن نسمع قصف الرعد ، وضرب عدد الثواني فى سرعة الصوت ( ٣٣٠ مترا فى الثانية ) نحصل على بعد البرق .

أما اذا أردنا قياس بعد هدف ما بالاستعانة بصافرة بخارية أو جرس

فيجب أن تضرب سرعة الصوت في نصف عدد الثواني التي تنقضي من لحظة ارسال الصوت الى لحظة استقبال الصدى لان الصوت يقطع المسافة ذهابا وايابا فيستغرق ضعف الزمن .

وينطبق نفس الشيء على الموجات اللاسلكية التي يشعها جهاز الرادار مع فارق واحد هو أن سرعة الموجات اللاسلكية أكبر بملايين المرات من سرعة الصوت ، وبهذا لا تؤثر السرعة العالية للطائرة - التي خدمت محددات المواقع بالموجات الصوتية - على عمل الرادار ، اذ يمكن للموجات اللاسلكية أن تصل الى الطائرة وتعود الى جهاز الاستقبال قبل أن تتحرك الطائرة مترا واحدا عن مكانها الأول .

وبناء على ذلك اذا أردنا تحديد المسافة بين جهاز الرادار والهدف ، فيكفي قياس الجزء من الثانية الذي ينقضي من لحظة ارسال الإشارة الى لحظة استقبال الصدى ثم يضرب نصف هذا الوقت في سرعة امتداد الموجات اللاسلكية التي تساوي سرعة الضوء ، أي حوالي ٣٠٠٠٠٠ كيلو مترا في الثانية ، والنتيجة هي بعد الهدف بالكيلومترات مباشرة .

وتختلف مدة دوام كل نبضة وعدد النبضات في الثانية من جهاز رادار لآخر .

واذا كان جهاز الرادار مصمما للتحكم في اطلاق نيران المدفعية ، فإنه يجب تحديد بعد الهدف في مدى يتراوح بين عدة عشرات من الكيلومترات الى عدة مئات من الأمتار بدقة في حدود عدة عشرات من الأمتار . فما هي المتطلبات التي يجب أن يحققها جهاز الرادار المصمم لقياس مسافة ٣٠٠ متر ؟ تقطع الموجات اللاسلكية مسافة ٣٠٠ متر في جزء من المليون من الثانية ، معنى ذلك أن الزمن الذي ينقضي من لحظة ارسال الى لحظة الاستقبال هو جزئان من المليون من الثانية ( تقطع الإشارة المسافة مرتين : ذهابا وايابا ) . ولكن بما أنه لا يمكن استقبال إشارة الصدى الضعيفة عندما يكون جهاز الاررسال عاملا ، فإن أجهزة رادار المدفعية تشع نبضات قصيرة جدا تصل في بعض الأجهزة الى أقل من نصف جزء من المليون من الثانية .

ومن ناحية أخرى ، يجب ألا ترسل النبضة التالية الا بعد أن تعود الأولى من الهدف الموجود عند نهاية مدى الجهاز الذي قد يصل الى ٣٠ كيلومترا بالنسبة لرادار المدفعية ، ذلك اذا أريد تجنب الأخطاء ، وهذه المسافة تناظر جزئين من عشرة آلاف جزء من الثانية ، أما بالنسبة

للرادار المصمم لاكتشاف الطائرات على مسافة تصل الى ٣٠٠ كيلومترا فان زمن عودة الصدى قد يصل الى جزئين من ألف جزء من الثانية ، وهذا يعني أنه يجب ألا يرسل جهاز الإرسال نبضات أكثر من ٥٠٠ مرة في الثانية ، أما في حالة رادار المدفعية الذي سبق الكلام عنه فان عدد النبضات لا يتجاوز عادة عدة آلاف في الثانية ، ولكنه من السهل ان نرى ان هذا العدد يمكن أن يصل الى خمسة آلاف في الثانية .

ولقد سبق أن رأينا أن زيادة دقة تحديد الاتجاه تتطلب استخدام موجات لاسلكية أقصر . وباستخدام موجات أقصر يمكن تصغير أبعاد الهوائي ووزن الجهاز بأكمله ، الأمر الذي يعتبر هاما بالنسبة لأجهزة رادار الطائرات . وبالمطابق استعمل المصممون في مجهوداتهم بلا كلل لتطويع محطات الرادار لتعمل بأقصر موجات ممكنة . وبعد أن استخدمت الموجات التي تصل أطوالها الى ثلاثة سنتيمترات فقط بنجاح في الرادار، بدأ العمل في محطات أريد منها أن تعمل بموجات طولها ١.٢٥ سنتيمترا، ولكن أظهرت الاختبارات أن مدى هذه المحطات كان قصيرا جدا حتى أنه كان أقل بكثير من المدى البصري كما كان يتوقف الى حد كبير عن الأحوال الجوية .

وقد أظهرت الأبحاث أن السبب في قصر مدى المحطات العاملة بموجات يقل طولها عن ١.٩ سنتيمترا كان شدة امتصاص بخار الماء الموجود دائما في الجو للموجات اللاسلكية فكلما زاد بخار الماء في الهواء أي كلما زادت رطوبته ، زاد امتصاص هذه الموجات اللاسلكية وقصر مدى محطات الرادار العاملة عليها ، ولا كانت الرطوبة تتغير كثيرا بالتغير في حالة الجو ، كان مدى محطات الرادار العاملة بهذه الموجات متغيرا أيضا .

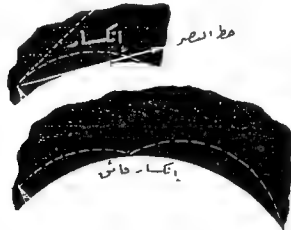
هذا بينما لا يتأثر كثيرا امتداد الموجات اللاسلكية الأطول من تلك ببخار الماء ويمكن أحيال هذا التأثير في هذه الحالة . ومع ذلك يمكن أن تتأثر الموجات الأطول بنقطة الماء مثل المطر والسحاب والضباب بدرجة كبيرة . لهذا يمكن في بعض الظروف رؤية السحاب والعواصف الممطرة .

وكثيرا ما يقال أن الموجات الفائقة القصير - وخصوصا الموجات السننيمترية - تمتد في مدى خط البصر فقط ، مما يحد من مدى محطات الرادار ، ولكن يجب ألا يؤخذ هذا الكلام بحقيقته .

حقا كلما قصر طول الموجات اللاسلكية كانت قوانين امتدادها تقرب لتلك الخاصة بالضوء ، ومع ذلك تتأثر الموجات اللاسلكية تأثيرا كبيرا بظاهرة الانكسار ، أى يتشوه مسارها نتيجة لعدم انتظام الجو ، والضوء ينكسر أيضا ، ولكن بينما يمكن غالبا أعمال الانكسار البصرى ، لا يمكن اغفال أمر انكسار الموجات اللاسلكية الفاتحة القصر عندما تمتد لمسافات بعيدة .

ونتيجة لعدم انتظام الجو ، لا تمتد الموجات اللاسلكية فى خطوط مستقيمة ، وإنما تنحني بحيث تمتد عن سطح الأرض عند الأفق البصرى ، ونتيجة لهذا يمتد مدى محطات الرادار الى ما وراء الأفق بكثير ، وهكذا يكون الانكسار هو السبب فى أن محطات الرادار البعيدة المدى العاملة بالموجات المترية يمكنها أن تغطى مسافات تصل الى ٣٠٠ كيلو مترا .

ويحق لنا الآن أن نسأل ، لماذا تشوه الاضطرابات الجوية مسار الموجات اللاسلكية ، وما هى طبيعة هذه الاضطرابات ؟ من المعروف أن الضغط الجوى يتغير حسب الارتفاع ، فيكون الضغط على الجبال أقل بكثير منه عند سطح البحر ، أو بعبارة أخرى يكون هواء الجبال أكثر تخلخلا من هواء الأراضي المنخفضة . وتمتد سرعة امتداد الموجات اللاسلكية على كثافة الوسط الذى تنتقل فيه اعتمادا كبيرا ، فكلما كان الوسط أكثف قلت سرعة الامتداد ( وهذا ينطبق على باقى الموجات المغناطيسية الكهربائية جميعها مثل الضوء المرئى ) . وبهذا تكون سرعة امتداد الموجات اللاسلكية فى طبقات الجو العليا أعلى مما هى فى الطبقات



( شكل ١٩ ) : انكسار الموجات اللاسلكية فى الجو . ويمكن ان تمتد الموجات اللاسلكية الى مسافات بعيدة جدا فى حالات الانكسار غير العادى ( الشكل الأسفل ) .

السفلى ، وهذا هو السبب فى أن الموجات اللاسلكية المستخدمة فى الرادار يمكنها أن تصل الى مسافات بعيدة وراء الأفق ( شكل ١٩ ) .

وفى بعض الأحيان يسبب الانكسار ظاهرة غريبة تمكن محطات الرادار من أن تغطى مسافات شاسعة ويكفى هنا أن نذكر حالتين مما كتب فى الصحف . فكتيرا ما تمكن عمال تشغيل محطات الرادار فى انجلترا من رؤية الساحل الهولندى على شاشات الرادار ، وكذلك كثيرا ما تستقبل أجهزة الرادار الموضوعة فى الهند الموجات اللاسلكية المنعكسة من الساحل الأفريقى ، وقد كانت هذه المسافات الكبيرة لدرجة غير عادية نتيجة لانكسار الموجات اللاسلكية مع انعكاسها المتكرر على سطح البحر الهادئ .

وتتم هذه العملية كما يأتى : ترتفع طبقات من الهواء الساخن أحيانا من داخل إحدى القارات الى أن تصبح فوق طبقات أبرد من الهواء قريبة من سطح البحر ، ونتيجة لهذا تكون كثافة الطبقات العليا من الجو أقل من الطبقات السفلى لا نتيجة للهبوط العادى للضغط البارومتري . مع الارتفاع فقط بل أيضا نتيجة لارتفاع درجة حرارة الطبقات العليا ، وهذا يرفع قيمة الانكسار عن المعتاد ، فتعود الموجات اللاسلكية لتتبعها المحطة اللاسلكية - نتيجة لهذا الانكسار الفائق - الى سطح البحر فى أقواس ضيقة نوعا . فاذا كان البحر هادئا وسطحه ناعما بالدرجة الكافية ، تنعكس الموجات اللاسلكية منه كما لو كان مرآة بحيث تعود ثانية الى الجو ، ويجعلها الانكسار تعود مرة أخرى الى سطح الماء ويتكرر هذا عدة مرات حتى تصل الموجات اللاسلكية الى الشاطئ فينعكس جزء منها عليه ويعود بنفس الطريقة مكونا صورة للساحل على شاشة الرادار . أما اذا كان سطح البحر خشنا فإن الانعكاس الصحيح لا يحدث . إذ تتفرق الموجات اللاسلكية فى جميع الجهات عند اصطدامها بسطح الماء ويصبح استقبال الرادار من مسافات بعيدة مستحيلا .

وتشبه هذه الظاهرة الغريبة تلك الظاهرة البصرية المعروفة بالسراب ، حيث يرى المسافرون فى الصحارى الأشياء التى تقع بعيدا خلف الأفق ، وبالطبع يندر حدوث ذلك الاستقبال البعيد للرادار لأنه يتطلب توزيعا خاصا لطبقات الهواء الساخنة والباردة وبحرا هادئا نوعا ما .

هذه بعض الفيزيائيات الأساسية للرادار . وهناك أيضا الكثير من الصعوبات الفنية التى كان يجب التغلب عليها قبل أن يصبح الرادار .

• يمكننا ، اذ يجب ارسال موجات لاسلكية قوية تتراوح أطوالها بين عدة أمتار الى عدة سنتيمترات ، كما يجب ارسال واستقبال اشارات نبضية قصيرة وكذلك يجب ارسال الموجات اللاسلكية فى شعاع ضيق ويجب ابتكار الوسائل المناسبة لقياس الزمن بأجزاء من المليون من الثانية .

## تكنيك الرادار

عرف الفيزيائيون منذ زمن بعيد كيفية إنتاج موجات لاسلكية قصيرة جدا ، وقد كان العلماء الروس متقدمين فى هذا المجال بصفة خاصة ، فمند حوالى خمسين سنة حصل ب.ن. ليبيديف على ذبذبات مغناطيسية كهربائية طولها ستة ملليمترات ، ومنذ خمسة وعشرين عاما انتجت أ. جلاجولينار أركاديفا موجات مغناطيسية كهربائية طولها ٠.٣ ملليمتر فقط ، ولكن كلا العالمين استخدم طريقة الشرارة الكهربائية فى توليد هذه الذبذبات ولهذا كانت الموجات ضعيفة جدا .

وقد ثبت ان صمامات الراديو العادية لا تصلح لتوليد ذبذبات قوية للموجات الدسيتمترية والسنتيمترية ، اذ تنخفض قدرة الموجات اللاسلكية الناتجة عن هذه الصمامات بسرعة مع قصر طول الموجة . وسرعان ما اكتشف أن هذا لم يكن نتيجة لمييب فى تصميم الصمامات وإنما نتيجة للقوانين التى تؤلف أساس الظواهر التى تحدث فى صمامات الراديو العادية .

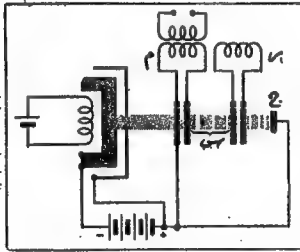
فإن الصفة الرئيسية لمدى الترددات فوق العالية هى أن طول الموجة فى هذا المدى يصبح قريبا من الأبعاد الهندسية للدائرة التذبذبية ، وبالإضافة الى هذا يختلف التيار فى الأجزاء المختلفة من الدائرة ويزيد إشعاع الطاقة المغناطيسية الكهربائية منها الى الفضاء بشدة ، ويؤثر هذا الفقد الإضافى على التشغيل الطبيعى للمولد ويجعل من المستحيل استخدام الدوائر الموافاة العادية فى مدى الترددات فوق العالية . لهذا تستخدم نظم تذبذبية خاصة بدلا من الدوائر التذبذبية العادية فى مدى الترددات فوق العالية ( ث . ف . ع ) ، وهذه النظم اما من النوع متحد المحور أو من نوع التجويف الرنينى ، حيث يكون لكل عنصر من عناصر الدائرة سعة وحث فى نفس الوقت . ومن السمات الرئيسية الأخرى لمدى ث . ف . ع . أن زمن انتقال الالكترونات بين أقطاب الصمام يكون كبيرا بالنسبة لزمن الذبذبة .

لهذا يتطلب توليد ذبذبات ث.ف.ع. صمامات تعمل على أساس.  
يختلف تماما عن ذلك الذى تعمل عليه الصمامات العادية \*  
الصمامات هي الماجسترون والكلايسترون \*

فى سنة ١٩٣٢ اقترح البروفسور د.أ. روجانسكى تصميم اداة.  
تعتمد على التحكم الديناميكى فى مجرى الالكترونات ، وفى سنة ١٩٣٥  
وصفت العالم أ \* أرسيفيفا تصميم هذه الأداة ، وقد سميت هذه الأداة  
الكلايسترون \*

فى الصمامات العادية يتم التحكم فى تيار الالكترونات على طول.  
الطريق بين الكاثود والأنود بواسطة المجالات الاستاتيكية الكهربائية ..  
أما فى الكلايسترون فتقوم ظاهرة الانسياق بالدور الرئيسى \* وتعنى  
بالانسياق سير الالكترونات فى الفراغ الحالى من المجالات الكهربائية \*

ويبين ( شكل ٢٠ ) رسما تخطيطيا لهذه الأداة \* وفيها يمر تيار.  
الالكترونات الخارج من مدفع الالكترونات خلال شبكات تؤلف مكثف.  
دائرة التحكم التذبذبية ، وعندما تسقط فلتية مترددة على هذه الدائرة.  
يشحن اللوح الأيمن من هذا المكثف بشحنة سالبة فى نصف الدورة.  
الأول بينما يشحن اللوح الأيسر بشحنة موجبة ، والعكس بالعكس فى  
نصف الدورة الثانى \* وبهذا تتباطأ الالكترونات المارة فى المكثف أثناء.



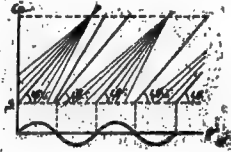
( شكل ٢٠ ) : الرسم التخطيطى للكلايسترون

- م - دائرة التحكم ( المدخل ) \* س - التجويف الرنينى ..
- ج - المجمع الذى يوجه الالكترونات الى دائرة الأنود \*
- س - حيز الانسياق حيث تتجمع الالكترونات فى مجموعات \*



نصف الدورة الأول بينما تتسارع تلك المارة أثناء نصف الدورة الثاني ،  
 أما الالكترونات المارة في المكثف في اللحظة التي يكون فيها فرق الجهد  
 بين الشبكتين صفرا فلا تتغير سرعتها ، وبهذا تلحق بالالكترونات التي  
 تباطأت في نصف الدورة الأول كما تلحق بها الالكترونات التي تسارعت  
 في نصف الدورة الثاني .

ويمكن توضيح عملية جميع الالكترونات ذات السرعات المعدلة في  
 مجموعات بيانيا ( شكل ٢١ ) .



( شكل ٢١ ) : التمثيل البياني لعملية تجميع شعاع الالكترونات ذات السرعات المعدلة  
 ويتناسب ميل الخط المستقيم مع سرعة الالكترون . ويتم التجميع عند تقاطع  
 الخطوط المستقيمة

وبما أن كثافة تيار الالكترونات المار خلال المعدل ثابتة ، فإنه  
 يمكن تمثيله بنقط على مسافات متساوية بطول الخط . وكما سبق القول  
 لا تتغير سرعة الالكترونات المارة في المعدل غلظتها ، يكون فرق جهده  
 صفرا ، وتمثل حركتها بخطوط مستقيمة تميل على المحور بزاوية محددة .  
 أما باقي الالكترونات فتكون سرعتها إما أكبر أو أصغر من تلك حسب  
 اتجاه المجال الكهربائي في لحظة مرورها في المعدل ، وبالتالي يكون ميل  
 الخطوط المستقيمة التي تمثل حركتها إما أكبر أو أقل ، وكما يرى من  
 ( شكل ٢١ ) تتقارب الخطوط تدريجيا وتتقاطع وهذا يناظر عملية  
 التجميع .

وبهذه الطريقة تعدل سرعة تيار الالكترونات المفظم بعد مروره  
 خلال شبكتي مكثف دائرة التحكم ( دائرة التعديل ) ، ويستقر في  
 حركته الى الامام ولكن على شكل مجموعات منفصلة من الالكترونات ،  
 فاذا لم تكن هناك غلظية تحكم ، يمر تيار مستمر في المجموع ، أما اذا  
 سلطت غلظية التحكم ، فان مجموعات منفصلة من الالكترونات تمر في  
 المجموع ، أي تمر نبضات من التيار في دائرة المجموع .

وهذا يعني أنه يمكن تحويل تيار الالكترونات المستمر الى نبضات من التيار ، ويتوقف تردد هذه النبضات على تردد غلظية التحكم ، فاذا وضعت دائرة تذبذبية أخرى فى طريق تيار الالكترونات للمعدل ، فان حزم الالكترونات المارة خلال شبكتيها تولد ذبذبات بنفس ترددها .

ويجب ملاحظة أن توليد هذه الذبذبات ليس نتيجة لاصطدام الالكترونات بالشبكتين اللتين يكونان مكثف الدائرة الثانية ، بل تولد هذه الذبذبات نتيجة للشحنات المستحثة فى شبكتى هذا المكثف نتيجة لمرور الالكترونات خلالهما .

ويمكن للصمام الذى يستخدم طريقة تعديل السرعة أن يعمل ايضا فى نطاق التردد اللاسلكى المعتاد ، ولكن تظهر ميزاته عند الموجات السنتيمترية حيث لا يستطيع الصمام العادى أن يعمل .

وصمامات تعديل السرعة المخصصة للنطاق السنتيمترى تستخدم الفجوات الرئيسية كدوائر موالفة .

وللحصول على فكرة أوضح من تشغيل الكلايسترون ، سندرس كيفية تبادل الفعل بين الالكترونات والمجال الكهربائى فى الفجوة الرئيسية .

فاذا تعرض الكترون متحرك فى مجال كهربائى لقوة مضادة من هذا المجال ، فان سرعته تقل وبالتالي تقل طاقته ايضا ، ولكن الطاقة لا يمكن أن تختفى ، لهذا ليس أمامنا الا أن نصل الى أن الطاقة التى فقدها الالكترون لا بد أنها انتقلت الى طاقة المجال الكهربائى ، أى أن قوة المجال لا بد أنها زادت ، إما اذا تسارع الالكترون نتيجة للمجال ، أى اكتسب طاقة ، فان قوة المجال تقل .

من هذا يتضح أنه اذا مر تيار من الالكترونات ذو شدة ثابتة فى مجال يتغير دوريا مع الزمن ( مثل المجال بين شبكتى فجوة التعديل فى الكلايسترون ) فان المجال فى المتوسط لا يفقد طاقة ولا يكتسب طاقة ، اذ أن الطاقة التى يفقدها المجال فى نصف دورة يستعيدنها فى النصف العالى .

ومن هنا نرى أن تعديل سرعة تيار الالكترونات فى الكلايسترون لا يتطلب الا طاقة صغيرة . ويذهب الجزء الأكبر من هذه الطاقة فى تسخين جدران الفجوة الرئيسية .

ولكن يختلف الأمر بالنسبة للفجوة الثانية ، فجوة الاستقبال .  
فاذا كانت هذه الفجوة على مسافة من المعدل تناظر الخط ف ( شكل ٢١ ) ، فان مجموعات دورية من الالكترونات تمر خلالها ، أى نبضات دورية من التيار بدلا من تيار مستمر .

فاذا كان التردد الطبيعي للفجوة الثانية قريبا من تردد النبضات ، فان ذبذبات تتولد في الفجوة ، ويضبط طورها أوتوماتيكيا بحيث تكون الطاقة المتصلة من مجموعات الالكترونات أقصى ما يمكن بالنسبة لتصميم الفجوة المذكورة .

ويجب ملاحظة أن الذبذبات المتولدة في الفجوة الثانية لا تتولد على حساب طاقة المجال المعدل وانما على حساب بطارية الأنود التي تغطي تيار الالكترونات سرعته الابتدائية . وتكون وظيفة المعدل تجييع الالكترونات في مجموعات ، بدون استهلاك طاقة كبيرة ، بحيث يتحول التيار المستمر غير القادر على توليد ذبذبات في الفجوة الى تيار نبضي (★) .

وهكذا يمكن - في الكلايسترون ذى الفجوتين - الحصول على قدرة عالية في الفجوة الثانية باستهلاك قدرة صغيرة في دائرة المعدل . وهذا يعنى أن الكلايسترون ذا الفجوتين يمكن أن يعمل كمكبر في النطاق السنتيمترى .

ولا تقتصر امكانيات الكلايسترون ذى الفجوتين على قدرته للعمل كمكبر ، فان نبضات التيار الالكتروني فيه غنية بالتوافقيات (★★) ، ولذلك فاذا ولقت الفجوة الثانية على توافق من توافقيات تردد المعدل بدلا من موافقتها على التردد الأصل ، فان ذبذبات تتولد لديها أيضا . وبهذا يمكن أن يعمل الكلايسترون ذو الفجوتين كمضاعف للترددات .

وبالطبع يمكن أن يعمل الكلايسترون كمذبذب ذاتي الاثارة . ولتشغيله هكذا لا نحتاج الا الى دائرة تغذية مرتدة بحيث يغذى جزءا من طاقة الفجوة الثانية للمعدل ثانيا ( شكل ٢٢ ) ويمكن الحصول على التغذية المرتدة بعدة طرق ، مثل استخدام كابل خارجي متحده المحور .

---

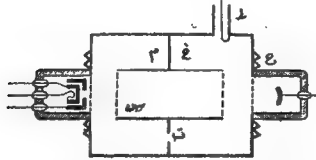
(★) وهذا يشبه الى حد ما عمل الشبكة في الصمام المفرغ المادى - بواسطة الشبكة التي تستهلك طاقة صغيرة . يمكن التحكم في تيار أنود الصمام ، أى التحكم في كمية استهلاك طاقة منبع لطية للأود .

(★★) هي الترددات التي تزيد بعدد صحيح من المرات ( بدون كسور ) على التردد الاساسى . وهو أقل تردد لجهاز الإرسال أو اللبند عال التردد .

الالكترونات - ٨٢

أو باستخدام انشودة أو مجلس أو ثقب يصل ما بين الفجوتين كما  
فى ( شكل ٢٢ ) •

ولكن على الرغم من جميع هذه الميزات التى يتميز بها الكلايسترون  
عن الصمامات العادية ، فإنه لا يخلو من العيوب ، فإنه صعب فى الانتاج  
والمعالجة •



( شكل ٢٢ ) : تصميم هذيلب الكلايسترون ذى الفجوتين •  
م - فجوة المعدل    ح - فجوة الخرج    د - لوب التغذية المرتدة •  
س - حيل الانسياب    ج - الجعب    ب - خرج الطاقة •

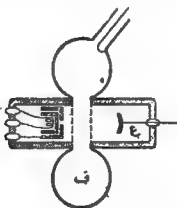
فبالمعنى تردد كلايسترون ذى فجوتين تتطلب معالجة فجوتين فى  
وقت واحد • وتتم المعالجة بتغيير حجم كل فجوة ، ويحد تعقيد هذه  
العملية والدقة الميكانيكية العالية المطلوبة من استخدام الكلايسترون  
ذى الفجوتين • ولا يستخدم هذا الكلايسترون فى الوقت الحالى الا فى  
مضاعفة التردد والتكبير •

وبالإضافة الى الكلايسترون ذى الفجوتين هناك أيضا الكلايسترون  
ثلاثى الفجوات والكلايسترون الانتقالي متعدد الفجوات • وتستطيع هذه  
الأنواع من الكلايسترون أن تولد ذبذبات نبضية ذات قدرات عالية جدا  
فى نطاق الترددات فوق العالية •

ويستخدم ما يسمى بالكلايسترون الاعتكاسى فى توليد ذبذبات  
منخفضة القدرة فى المدى السنتيمترى ، وقد طوره ن • د • ديفيانكوف  
وف • ف • كوفاليتكو ( ١٩٤٠ ) •

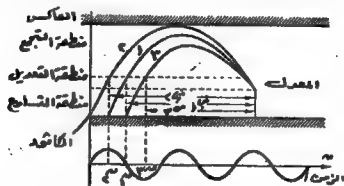
والميزة الأساسية للكلايسترون الاعتكاسى هو أنه يحتاج فى تشغيله  
الى فجوة واحدة تعمل كفجوة تعديل وفجوة خرج فى وقت واحد •

وحتى يمكن أن نجعل الالكترونات تمر مرتين بين شبكتي نفس الفجوة الواحدة يستعمل قطب عاكس • ويعكس جميع الكلايسترون ذى الفجوتين الذى يتصل هو والفجوتان بالطرف الموجب للبطارية . يجب أن يكون جهد العاكس كبيرا بالدرجة الكافية ومسالبا بالنسبة للكاثود • وفى هذه الحالة لاتصلطم الالكترونات التى تكون قد تسارعت فى الحيز الموجود بين الكاثود والفجوة ( شكل ٢٢ ) ومرت خلال شبكتيها بالعاكس بل تنبسطا باقترابها منه تدريجيا ، ثم تتوقف ثم تتسارع عائدة الى الفجوة ، ونتيجة لهذا تعود الالكترونات الى الفجوة بنفس السرعة التى غادرتها بها •



( شكل ٢٢ ) : تصميم الكلايسترون العاكس  
ف - الفجوة ع - العاكس

وقد أظهرت التجربة أنه عند قيم معينة للفولتيات المسلطة على أقطاب الكلايسترون ( تعتمد على أبعادها ) يمكن أن نجعل كل الالكترونات التى تمر بالفجوة أثناء أحد نصفي دورة مجالها ( شكل ٢٤ ) تعود اليها



( شكل ٢٤ ) : التمثيل البياني لعملية تجميع الالكترونات فى الكلايسترون العاكس •

مما تقريرا . ويلاحظ أن الكلايسترون الاعتكاسي - بعكس الكلايسترون  
في الفجوتين - يجمع الالكترونات حول الالكترون الذي يمر خلال الفجوة  
عندما يكون المجال فيها صفرا أثناء تحوله من مجال تسارع الى مجال  
تباطؤ ( انظر شكل ٢١ ، ٢٤ ) .

ومن السهل التوصل الى أن الكلايسترون الاعتكاسي يبدأ في  
التذبذب تحت ظروف التشغيل المناسبة بدون أى وسائل مساعدة مثل  
التغذية المرتدة . فإذا غذى الكلايسترون بالفلطيات الملائمة ، لا يمكن أن  
يظل تيار الالكترونات فيه ثابتا ، ويولد أصغر تغير عشوائي في قيمة  
التيار وكذلك التنبضات الكهربائية العشوائية المفاجئة استثارة ذاتية في  
الكلايسترون . ويسبب اصفر تغير في فلتية الفجوة تعديلا في تيار  
الالكترونات وتبدأ الالكترونات في التجمع .

وفي الظروف الملائمة ، تغطي المجموعات المتكونة من الالكترونات  
كمية معينة من الطاقة للفجوة على حساب بطارية الأنود وبذلك تزيد قيمة  
فلتية الفجوة التي كانت صغيرة في البداية ، ونتيجة لهذا تتكون مجموعات  
أكبر من الالكترونات وتزيد استثارة الفجوة ، وبهذه الطريقة تزيد  
الذبذبات في الكلايسترون حتى تعادل الطاقة المستهلكة من البطارية مع  
مجموع الطاقة المفقودة في تسخين جدران الفجوة والطاقة المغناطيسية  
الكهربائية المشعة منها . إلخ .

وهكذا نرى أن الالكترونات المتجمعة في مجموعة واحدة تغطي  
الفجوة - عند عودتها اليها - طاقة اضافية على حساب بطارية الأنود التي  
سارعت الالكترونات في البداية . وأثناء عودة الالكترونات ، يتم تجميعها  
بوساطة تعديل سرعة مجموعة الالكترونات الأولى التي خرجت من نفس  
الفجوة بدون أن تفقد كمية تذكر من الطاقة .

وبهذا نرى أن ميكانيكية تجميع الالكترونات في الكلايسترون الاعتكاسي  
تتأطر عملية التغذية المرتدة ، ولهذا لا يحتاج توليد الذبذبات فيه  
لوسائل اضافية .

ونظرا لأن فجوة الكلايسترون الاعتكاسي تقوم بتعديل الطاقة  
واستقبالها ، فإن موافقته بسيطة للغاية .

ومن السمات الرائعة للكلايسترون الاعتكاسي امكان تغيير تردد  
التذبذب كهربائيا وذلك بتغيير جهد العاكس تغييرا صغيرا اذ يكفي - لتغيير

تردد التذبذب - أن يتغير زمن انتقال الإلكترون في منطقة التجمع قليلا ، وهذا يغير قيمة الفلطة للخطية للفجوة عند عودة مجموعة الإلكترونات •  
في منطقة التجمع قابلا ، وهذا يغير قيمة الفلطة للخطية للفجوة عند عودة مجموعة الإلكترونات •

ويعنى هذا أن طور التيار الذى تستحثه مجموعات الإلكترونات في الفجوة سيتزحزح بالنسبة لفلطة الفجوة بقيمة اضافية معينة ، وهذه الزحزحة في الطور تناظر اضافة مركبتين احدهما ذات طبيعة فعالة والاخرى مفاعلة ، وتسبب المركبة المفاعلة تغيرا في التردد المولد في الكلايسترون ، بينما تناظر المركبة للفعالة قدرة اضافية ضائعة في الفجوة تقلل من اتساع ذبذباته •

هذه الموالفة الالكترونية لتردد الكلايسترون تناظر الى حد ما الارتباط بين التردد وقيمة التغذية المرتدة ، اذ لا ينطبق التردد المولد بواسطة مذبذب صمامي في الحقيقة على تردد رنين الدائرة الموالفة بل يختلف عنه بمقدار يتحدد من المكونات المفاعلة الاضافية التى تضيفها عناصر المذبذب الأخرى - وخصوصا دائرة التغذية المرتدة - الى الدائرة •

فاذا غيرت التغذية المرتدة ، فإن اتساع الذبذبات - الذى يعتمد على قيمة المقاومة السالبة التى تضيفها دائرة التغذية المرتدة - لا يتغير وحده بل يتغير أيضا تردد المذبذب نتيجة للتغير في قيمة الممانعة المفاعلة المضافة الى الدائرة •

وكما رأينا ، تولد مجموعات الإلكترونات العائدة الى الفجوة تيارات فيها ويكون طورها مزحزحا لفلطة الفجوة ، وهذه التيارات تناظر تماما تلك التى تضيفها دائرة التغذية المرتدة الى الدائرة الموالفة في المذبذب العادى • كما أنها تضيف أيضا مقاومة سالبة ذات قيمة محددة وهى التى تحدد اتساع ذبذبات الكلايسترون وممانعة مفاعلة تحدد الفرق بين التردد المولد وتردد رنين الفجوة •

وبالطبع يكون الفرق النسبى بين التردد المولد وتردد الرنين صغيرا جدا بحيث يقع في حدود متحتى رنين الفجوة •

وهكذا يكفى تغيير طور رجوع مجموعة الإلكترونات الى الفجوة ليتغير تردد ذبذبة الكلايسترون كما يرى من (شكل ٢٤) ، ولهذا الغرض يجب تغيير زمن انتقال الإلكترونات في منطقة التجميع - التى تحدد سرعتها الابتدائية - بتغيير فلطة أنود الكلايسترون وجهد العاكس •

ونتيجة لهذا نرى أن التردد المولد في الكلايسترون لا يعتمد على ثوابت الفجوة فقط بل وعلى هاتين الفلظيتين أيضا ، ويلاحظ أن تأثير تغيير جهد العاكس يزيد كثيرا على تأثير تغيير فلظية الأنود .

وقد انتشر استخدام الكلايسترون الاعتكاسي في الدوائر المختلفة في معدات النطاق السنتيمترى نظرا لسهولة الموائمة الالكترونية وبساطتها وعولها ، فيستخدم مثلا كمذبذب محلي في أجهزة استقبال الرادار وأجهزة القياس المختلفة والتحليل الطيفي اللاسلكي ... الخ .

ويمكن استخدام الكلايسترون الاعتكاسي في مضاعفة تردد الذبذبات أو توليد كسور هذا التردد أيضا .

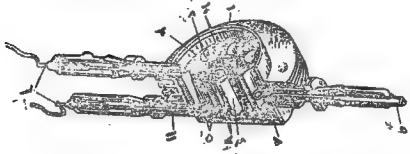
وكما في صمامات الراديو العادية ، يشترك كل الكترون في تشغيل الكلايسترون مرة واحدة فقط . ففي الصمام المعتاد ، يمر كل الكترون - بعد انقذافه من الكاثود - خلال الشبكة ويصطلم بالأنود ، وفي الكلايسترون الاعتكاسي ، يمر الالكترن - بعد انقذافه من الكاثود وتسارعه نتيجة لجال التسارع - خلال الفجوة الى منطقة التجميع ، ثم يمر ثانية في الفجوة بعد أن يطرده العاكس كجزء من مجموعة الكترونات .

وبهذا الاستخدام لمرة واحدة ، يكون من الصعب نقل جزء كبير من الطاقة التي أخذت من الالكترن من مجال التسارع الى الذبذبات الكهربائية .

وقد وجد العلماء طريقة أخرى للحصول على موجات لاسلكية قصيرة جدا ، فقد ابتكر صمام جديد يسمى الماجنترون يتم التحكم في تيار الالكترونات فيه بواسطة مجال مغناطيسي مع مجال كهربائي . ونتيجة لاستخدام مجال مغناطيسي يمكن أن يشترك كل الكترون في توليد الذبذبات الكهربائية عدة مرات ، إذ لا يسمح المجال المغناطيسي الذي تتعامد خطوط قواه مع خطوط المجال الكهربائي للالكترونات بالسير في خط مستقيم من الكاثود الى الأنود كما قد تفعل بدونها : بل يسير كل الكترون في الماجنترون على مسار معقد حول الكاثود قبل أن يصطلم بالأنود . وتكتسب الالكترونات أثناء سيرها في هذا المسار طاقة من المصدر الذي يغذي الماجنترون والتيار المستمر عالي الفلظية . وعندما تنتفي العلاقات المناسبة بين قيمتي المجالين الكهربائي والمغناطيسي ، تتولد ذبذبات كهربائية في الماجنترون ، ويبتأثر هذه الذبذبات ، تتجمع



الالكترونيات المنبثة من الكاثود فى مجموعات تدور حول الكاثود كما تفعل أذرع ( برامق ) العجل عندما تدور ، وتولد هذه المجموعات - فى دوراتها - ذبذبات مغناطيسية كهربائية عالية القدرة فى الفجوات الموجودة فى أنود الماجنترون ( شكل ٢٥ ) .



( شكل ٢٥ ) : تصميم الماجنترون .

- |                          |                                |
|--------------------------|--------------------------------|
| ١ - الود                 | ٢ - الفجوات الرئيسية           |
| ٣ - شقوق                 | ٤ - الكاثود                    |
| ٥ - مسكات الكاثود        | ٦ - الجزء الخارجى لخارج القناة |
| ٧ - شبكات على شكل الراس  | ٨ - وصلة إخراج الطاقة          |
| ٩ - مخرج الطاقة          | ١٠ - وصلات                     |
| ١١ - زعائف لتبريد الأنود |                                |

وفى نفس الوقت ، تتحرك موجة مغناطيسية كهربائية فى الفراغ الموجود بين كاثود الماجنترون وأنوده بسرعة تقرب من سرعة دوران مجموعات الالكترونات .

وهذا يضمن بالطبع تبادل الفعل بين مجموعات الالكترونات والموجة تبادلًا جيدًا ، ونتيجة لهذا تتحول الطاقة المستهلكة فى تغذية الماجنترون الى طاقة موجات لاسلكية ، ويتم هذا التحويل بكفاءة عالية .

وقد وصل طول أقصر الموجات اللاسلكية التى تم الحصول عليها بواسطة الماجنترون الى عدة ملليمترات .

وباستخدام وسائل خاصة ، يمكن الحصول من الماجنترون على نبضات قصيرة من الموجات اللاسلكية تصل قدراتها الى عدة آلاف من الكيلوات ( أى كقوة محرك طائرة ) . ويجدير بالذكر هنا أن جهاز الارسل الذى يولده هذه النبضات القوية جدًا لا يزيد فى حجمه عن صندوق الأدرج ( الشانون ) العادى . وبهذا كان اختراع الماجنترون -

الذى طورت أولى نماذجها التى صنعت فى الاتحاد السوفيتى على يدى ن.ف. الكسييف و د. ي. مالياروف فى سنة ١٩٣٦ - حلا عبقرى لمشكلة الحصول على الموجات اللاسلكية اللازمة للرادار .

وقد أثبت الماجنترون أخيرا أنه لا يصلح فى التوليد فحسب ، بل فى تكبير الذبذبات عالية التردد أيضا .

وقد ابتكرت عدة صمامات أخرى للعمل فى مدى الترددات فوق العالية جدا ، وأكثر هذه الأنواع شيوعا هو أنبوب الموجة المتنقلة . وفى هذه الأنابيب ، تتبادل الالكترونات الفعل أيضا مع موجة مغناطيسية كهربائية متنقلة ، وهذه الموجة لا تتحرك فى دائرة كما فى الماجنترون بل على العكس ، تتحرك بطول الأنبوب فى نفس اتجاه سير الالكترونات ، وتجمع الموجة الالكترونات فى مجموعات ، وتولد الالكترونات المتجمعة ذبذبات مغناطيسية كهربائية فى غرفة خرج الأنبوب وتعطيها طاقتها كلها .

ويلاحظ أن تبادل الفعل بين مجموعات الالكترونات وموجة مغناطيسية كهربائية متحركة سمة مشتركة بين الماجنترون وأنبوب الموجة المتنقلة ، إلا أن الالكترونات تسير فى أنبوب الموجة المتنقلة فى خطوط مستقيمة وليس فى خطوط منحنية لعدم وجود مجال مغناطيسى مستعرض وحتى تكون كافية تبادل الفعل بين الالكترونات والموجة كبيرة يجب أن تكون سرعة الالكترونات فى أنبوب الموجة المتنقلة قريبة من سرعة الموجة المغناطيسية الكهربائية ، تماما كما فى حالة الماجنترون .

ولكن اذا أريد زيادة سرعة الالكترونات الى أن تصل الى ما يقرب من سرعة الموجة المغناطيسية الكهربائية ( سرعة الضوء ) ، لوجب اكسابها طاقات جبارة ، وهذا يقلل الى حد كبير من كفاءة الصمامات الالكترونية التى تعتمد على تبادل الفعل بين مجموعات من الالكترونات وموجة متنقلة ، ومع ذلك توصل العلماء الى طريقة عبقرية للتغلب على هذه الصعوبة .

فبدلا من زيادة سرعة الالكترونات الى سرعة هائلة باستخدام فلتنيات عالية جدا ، يمكن إبطاء سرعة الموجة المغناطيسية الكهربائية ، وبالطبع لا يمكن أن نبطئ سرعة موجة مغناطيسية كهربائية فى الفراغ ، كما لا يمكننا فى هذا المجال استغلال تلك الخاصية التى تجعل سرعة الموجات المغناطيسية الكهربائية فى العوازل ( مثل الزجاج ) أقل منها فى الفراغ . اذا لا يمكن الحصول على مجموعات من الالكترونات عالية السرعة فى عازل .

ومع ذلك يمكن أن نبطئ سرعة الموجات المغناطيسية الكهربائية ، ويكفي - لهذا - أن نرسل هذه الموجة في سلك على شكل حلزون ، إذ بينما تسير الموجة على لفات السلك بسرعة تقرب من سرعة الضوء في الفراغ ، تتحرك بطول محور الحلزون بسرعة أقل ، وتقل هذه السرعة كلما كانت اللفات قريبة بعضها إلى بعض . وبهذه الطريقة يمكن إبطاء سرعة الموجة المغناطيسية الكهربائية المتحركة بطول محور الحلزون حتى أن الإلكترونات التي تتسارع بفعل فلطية لا تزيد على عدة مئات من الفولتات يمكنها أن تتحرك بسرعة الموجة .

ويصل طول أنابيب الموجة المتحركة التي تعمل في مدى الموجات السنتيمترية من عشرة سنتيمترات إلى ثلاثين . وحتى يمكن أن تسير حزمة الإلكترونات الضيقة مثل هذه المسافة بطول محور حلزون ضيق ، يوضع الأنبوب بأكمله داخل ملف مغناطيسي كهربائي على أن يكون في محور الملف تماماً . وينطبق اتجاه المجال المغناطيسي الثابت مع اتجاه المجال الكهربائي داخل الأنبوب ( بينما يتعامدان في الماجترون ) ، وهذا يجعل الإلكترونات تسير بطوله محور الأنبوب .

ويستهلك المغناطيس الكهربائي اللازم لتشغيل أنبوب الموجة المتحركة قدرة عالية نسبياً كما يزيد وزنه على وزن الأنبوب نفسه بمئات المرات ، وكذلك يصعب استخدام هذه الأنابيب نظراً لضرورة إحكام وضع الأنبوب بطول محور المغناطيس الكهربائي تماماً .

وقد طور معهد الهندسة اللاسلكية والإلكترونية التابع لأكاديمية العلوم بالاتحاد السوفيتي طرازاً جديداً من أنبوب الموجة المتحركة لا يحتاج إلى ملف تركيز يؤدي مغناطيسي . ففي هذا الأنبوب - الذي يسمى السبيراترون - يوضع داخل حلزون التباطؤ ويطول محوره سلك رفيع مشدود ، ويكون جهد هذا السلك أعلى من جهد الحلزون نوعاً ما ، فإذا قذف تيار من الإلكترونات من مدفع الإلكترونات العادي بين الحلزون وهذا السلك بحيث يكون موازياً له ، تسير معظم الإلكترونات بسرعة على هذا السلك ، وحتى لا يحدث هذا ، طور المصممون مدفع إلكترونات خاص يقذف الإلكترونات في مسارات حلزونية ترتفع بحيث تكون بين السلك المركزي وحلزون التباطؤ ، فتمنع القوة المركزية الطاردة الإلكترونات من الاستقرار على السلك ويتحرك معظمها بحرية على طول حلزون التباطؤ بأكمله . وقد كان هذا النوع من التركيز البؤري الاستاتيكي الكهربائي بالقوة المركزية الطاردة سبباً في الارتقاء بصناعة أنابيب الموجة المتحركة الخفيفة بصورة مرضية يمكن الاعتماد عليها .

وفى نفس الوقت تمكن العلماء والمهندسون من حل مشكلة استقبال هذه الموجات القصيرة المعقدة .

وقد كانت مشكلة الحصول على أشعة ضيقة من الموجات اللاسلكية صعبة بصفة خاصة فى السنين الأولى لتطوير الرادار ، عندما كانت أطوال الموجات المستخدمة عدة أمتار . فقد كان تصميم العواكس التى يصل حجمها الى ما يلزم لتجميع هذه الموجات فى أشعة ضيقة خارج إمكانيات ذلك الوقت ، فقد كان يجب عليها أن تكون كبيرة جدا وثقيلة وقبيحة الشكل . لهذا كان يجب أن تسير الحلول فى طريق تصميم هوائيات خاصة تصنع بأشكال معقدة تشبه الحصر المعدنية ، وقد تناولنا طريقة عمل مثل هذه الهوائيات من قبل .

ولكن عندما صغرت أطوال الموجات كنتيجة لتطور الرادار صغرت ابعاد الهوائيات أيضا . وفى سنة ١٩٣٩ ظهرت أولى منشآت الرادار التى تعمل بموجة طولها ٥٠ سنتيمترا . وقد زودت هذه المنشآت بهوائيات تشبه مرآة مقعرة ضخمة ، وحتى يقل الوزن الى أقصى حد ممكن ، كانت الأسطح العاكسة تصنع - فى بعض الأحيان - من شبكة من السلك بدلا من الألواح المعدنية .

أما هوائيات أجهزة الرادار المعاصرة التى تعمل بموجات طولها عشرة سنتيمترات وثلاثة فعبارة عن عواكس معدنية كبيرة على شكل قطع مكافئ تشبه الى حد كبير الأشواء الكاشعة . وهى تشع شعاعا من الموجات اللاسلكية لا يزيد فى عرضه عن شعاع الضوء الكاشف المعتاد . وتخترق هذه الموجات اللاسلكية - بعكس موجات الضوء المرئى - أشد الضباب كثافة وكذلك السحاب والدخان . ولهذا السبب يمكن أن يعمل الرادار فى أى جو ، ليلا أو نهارا .

وتسمح الأشعة الضيقة من الموجات اللاسلكية التى يشعها هوائى الرادار الأفق ، ويظهر اتجاه الهوائى على شاشة أنبوب أشعة المهبط بصفة مستمرة ، وبهذا يمكن لعامل الرادار أن يحدد الاتجاه الصحيح الدقيق للهدف الذى يعكس الموجات اللاسلكية .

وقد ظل أنبوب أشعة المهبط الذى اخترعه كارل براون سنة ١٨٩٧ لزمان طويل مجرد أداة اضافية مفيدة فى الأبحاث الفيزيائية ، ولكن سرعان ما بلغ أنبوب أشعة المهبط درجة الكمال بمجرد ظهور التليفزيون ، ويمكن الآن أن نؤكد أنه لولا أنابيب أشعة المهبط الحديثة لما كان هناك رادار .

فقد كان أنبوب أشعة المهبط بالذات هو الذى ساهم فى حل واحدة من أعقد المشاكل التى واجهت الرادار ، ألا وهى مشكلة قياس الفترات القصيرة جدا من الزمن بدقة وسهولة . ولهذا الغرض ، تزود ألواح الانحراف الأفقى فى أنبوب أشعة المهبط بفلطية من مولد خاص يسمى مولد المسح . وهذه الفلطية تجعل شعاع الالكترونات يسير بسرعة عبر شاشة الأنبوب من اليسار الى اليمين بحيث يكون خطا متوهجا مستقيما . وعندما يصل شعاع الالكترونات الى الحافة اليمنى ، يعود فى الحال الى الحافة اليسرى ليستأنف حركته فورا .

وهكذا يقوم شعاع الالكترونات بدور « المقرب » السريع جدا فى هذه « الساعة الالكترونية » التى تستطيع أن تبين الأجزاء من المليون من الثانية . ويتحرك هذا « المقرب الالكترونى » فى خط مستقيم ، بعكس عقارب الساعات العادية التى تتحرك بسرعة ثابتة على الوجه المستدير للساعة . وهكذا يمكن اذا قسمنا ذلك الخط الالكترونى حسب مقياس خاص ، أن نحصل على « وجه » أيضا ولكنه مستقيم فى هذه الحالة وليس مستديرا .

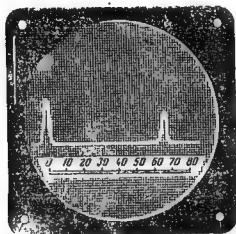
ويتحرك هذا « المقرب الالكترونى » بسرعة كبيرة حتى أن العين لا تلاحقه . وهذا يعنى أنه بدون وسائل خاصة لا يمكن معرفة الوقت بهذه الساعة . وللتغلب على هذه الصعوبة ، قام المهندسون بما يلى :

ضبطت حركة شعاع الالكترونات بحيث تناظر تماما تشغيل جهاز ارسال الرادار . فبينما الشعاع حركته فى نفس اللحظة التى ترسل فيها إشارة نبضية . ثم تنتقى سرعة الحركة بحيث يصل الشعاع الى الحافة اليمنى فى نفس الوقت الذى يصل فيه صدى الإشارة المنعكس من الأهداف الموجودة عند نهاية مدى الجهاز . وفى لحظة ارسال الإشارة تظهر نبضة ضيقة فى النهاية اليسرى للخط المتوهج على شاشة الرادار . فإذا ظهر هدف فى حدود مدى الرادار ، يستقبل جهاز الاستقبال الموجات اللاسلكية المنعكسة منه وتظهر نبضة أخرى أصغر من الأولى على الخط المتوهج .

وبمعرفة سرعة حركة الشعاع الالكترونى عبر الشاشة ، يمكن حساب الزمن الذى استغرقته الموجة اللاسلكية فى الوصول الى الهدف والعودة بقياس المسافة بين النبضتين .

ولما كانت سرعة الموجات اللاسلكية معروفة ، فإنه يمكن تحويل هذا الزمن بسهولة الى بعد الهدف . وتزود شاشة الأنبوب الالكترونى

بمقياس يعطى المسافة بالتر أو الكيلو متر بالدقة المطلوبة لهذا النوع  
من الرادار. ( شكل ٢٦ ) .



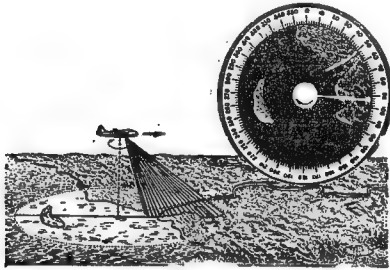
( شكل ٢٦ ) : شاشة جهاز استقبال رادار وبها مقياس المدى . وتمثل النبضة اليمنى  
النبضة المتمكة من الهدف .

وبهذا لا يحتاج عامل الرادار الى القيام بأية حسابات ، اذ يمكنه  
ان يقرأ - ببساطة - المقياس ليحصل على المسافة المناظرة لمكان النبضة  
الثانية التى تنتجها اشارة الصدى .

ويمكن الرادار المدفعية ان يحدد المسافة بدقة تصل الى عدة أمتار  
اى أسرع وأدق مما تفعل أجهزة تعيين المرمى البصرية . ولكن لايجاد  
الهدف بسرعة بالاستمانة يمثل هذا الجهاز الدقيق لتحديد المسافات ،  
يجب استخدام جهاز تحديد مسافات مساعد له زاوية شعاع أكبر ، تماما  
كما يفعل الفلكيون عندما يستخدمون منظارا اضافيا ضعيفا لتوجيه  
التلسكوب الأقوى . وعادة يمكن تشغيل هوائى الرادار بحيث يتحول  
من البحث بشعاع واسع الى البحث بشعاع ضيق من الموجات اللاسلكية  
وبالعكس .

وقد ظهر أخيرا نوع آخر من الرادار انتشر استخدامه كثيرا ، وهو  
الذى يسمى رادار بيان الموقع الاسقاطى ( شكل ٢٧ ) . وتدور هوائيات  
أجهزة الرادار هذه حول محور رأسى باستمرار ، ويمسح شعاعه اللاسلكى  
الأفق جميعه .

ولا يتحرك الشعاع الالكتروني في مابين المواقع الاسقاطي من الحافة للحافة ، وانما من مركز الشاشة الى محيطها ، وفي نفس الوقت يتحرك الخط الذي يرسمه الشعاع ببطء حول مركز الشاشة مثلما يفعل عقرب الساعة . وتكون هذه الحركة مناظرة تماما لحركة هوائي الرادار، بحيث يكون الخط المتوهج دائما في نفس الاتجاه الذي يشع فيه الشعاع اللاسلكي من الهوائي .



( شكل ٢٧ ) شاشة مابين المواقع الاسقاطي .

وتبين الاشارات المنعكسة على شاشة محطة بيان الموقع الاسقاطي بطريقة تختلف عن المعتاد أيضا .

فهناك دائرة خاصة تمنع خروج الالكترونات من مدفع الالكترونات في حالة عدم وجود اشارة صدى وتظل الشاشة مظلمة فيما عدا البقعة التي في مركزها التي تدل على اشعاع الاشارة وعلى أن الجهاز يعمل ، ويستمر الجزء من الجهاز الذي يحرك شعاع الالكترونات من مركز الشاشة الى حرفها ويديره حولها في العمل حتى ولو كان شعاع الالكترونات محتجبا . بحيث اذا اطلق الشعاع يظهر في نفس المكان الذي كان يظهر فيه لو لم يكن محتجبا . وعندما يصل الصدى ، يفتح جهاز الاستقبال الطريق للشعاع وتظهر بقعة متوهجة على الشاشة . وتناظر المسافة بين هذه البقعة ومركز الشاشة بعد الهدف ، بينما يبين مكانها اتجاهه .

ويصور هوائي الرادار في هذه الحالة ببطء نسبيا ، بحيث يستغرق عدة ثوان لكل دورة . لهذا تكون مراقبة الهدف صعبة وغير مريحة اذا استخدمت أنابيب الصورة التليفزيونية المعتادة في هذا الجهاز ، اذ لا تظهر البقع المتوهجة التي تبين الهدف الا مرة واحدة ولمدة قصيرة جدا في كل دورة من دورات الهوائي . وللتغلب على هذه الصعوبة تغطي شاشات أنابيب مبيئات المواقع الاسقاطية بمادة فلورية ذات مداومة طويلة بحيث لا تختفى البقعة المضيئة المبينة للهدف حتى يكمل الهوائي دورة كاملة و « يضيء » الهدف ثانية بشعاعه اللاسلكي . وتستقبل الاشارات المنعكسة ثانية وتضيء نفس البقعة على شاشة الرادار اذا ما كان الهدف ثابتا .

أما اذا كان الهدف متحركا ، فإن الموجات اللاسلكية تجده في الدورة الثانية للهوائي في مكان جديد ، وبالتالي فإن بقعة الضوء تتزحزح على الشاشة ، وبهذا تتحرك البقعة المضيئة التي تمثل هدفا متحركا عبر شاشة الأنبوب ويمكن للمشاهد أن يلاحظ حركتها بسهولة .

وبالاضافة الى ظهور بقع الضوء واختفاؤها وحركتها التي تناظر حركة الأهداف ، تغطي شاشات هذه الأنابيب نوعا من الصورة للأرض المحيطة ، فتظهر جميع الأهداف المعدنية الكبيرة التي تعكس الموجات اللاسلكية جيدا مثل أسطح المنازل والكبارى . . الخ كبقع لامعة بينما تظهر الأهداف التي لا تعكس الموجات اللاسلكية جيدا كبقع معتمة .

واذا وضع جهاز بيان الموقع الاسقاطي في طائرة ، تظهر على الشاشة خريطة واضحة للأرض التي تطير فوقها الطائرة ، وتظهر الأنهار والبحيرات كخطوط وبقع معتمة ، وتظهر الأرض أكثر لمعانا والغابات أكثر منها وتظهر الأهداف المعدنية لامعة جدا ، وتعتبر مثل هذه الأجهزة أجهزة ملاحية رائعة تمكن الطائرة من الإعتداء بالعالم الأرضية بالليل وفي الجو الملبئد بالغيوم .

وفي سنة ١٩٤٣ ، عندما بدأت الطائرات الانجليزية غاراتها على ألمانيا ، لم تكن تستطيع الإعتداء الى الهدف في معظم الأحيان ، بل لم تكن تستطيع الإعتداء الى منطقة الهدف بأكملها نتيجة للتدمير ، وفي هذه الأيام ضاعت معظم القنابل هباء في الحقول والغابات .

ولكن عندما زودت الطائرات برادار بيان المواقع الاسقاطي ، تمكن الملاحون من العثور على المنطقة والهدف باتباع الأنهار التي كانت تميز



جيذا نظرا لاعتمادها على الشاشة وطرق السكك الحديدية التي كانت تتميز بلمعانها على الشاشة . فإذا حدث أن كان الهنـف قنطرة أو سدا ظهر لامعا بوضوح في وسط سواد النهر ، كما يمكن رؤية المصانع جيـدا نظرا لسطحها المعدني (★) .

وقد ثبت أن ظلاء التـمويه وشبكات التـمويه وظلام الليل لا حول لها ولا طول أمام « عين الرادار التي ترى كل شيء » ، وقد جعل الرادار الغارات الليلية والقاء القنابل من الارتفاعات العالية مؤثرا بحق ، وغير معركة الهواء لصالح الحلفاء بشدة .

وسنتناول الوسائل المختلفة للقتال باستخدام الرادار فيما بعد ، ولكننا سنتكلم الآن عن التـمـاخـل مع تشـغـيل محطات الرادار . وقد استخدمت تلك الظاهرة الفيزيائية المعروفة في البصريات والصوتيات بظاهرة دوبلر لكبت هذا التـمـاخـل ومعادلة الوسائل المضادة للرادار ، وتستخدم نفس الظاهرة أيضا في تحديد مواقع الأهداف الأرضية المتحركة التي يغطيها انعكاس الموجات الـلامـسـكـية من الأرض المحيطة بها عند استخدام الطرق العادية .

وظاهرة دوبلر عبارة عن تغير تردد موجات الضوء أو الصوت عندما يكون المراقب أو المصدر متحركاً . فإذا كان كل من المراقب والمصدر مقتربا أحدهما من الآخر ، يلتقي المراقب بعدد من الموجات في الثانية أكبر مما لو لم تكن هناك حركة ، وهذا يعني زيادة التردد ، أما إذا كان كل من المراقب والمصدر مبتعدا أحدهما عن الآخر فإن عدد الموجات المستقبلية في كل ثانية يقل عما لو لم تكن هناك حركة .

ولا بد أن الكثير ممن يقفون بجوار خطوط السكك الحديدية قد لاحظوا مثالا صوتيا لظاهرة دوبلر ، فإذا اقترب قطار يطلق صافراته من المراقب ، لا تتغير درجة صوت الصفارة بالرغم من أنها تبدو أعلى منها في القطار غير المتحرك ، وفي اللحظة التي يمر فيها القطار بجوار المراقب ويبدأ في التحرك بعيدا ، تتغير درجة الصوت فجأة بحيث تقل نغمتها . وهذا يعني أن تردد الصوت الذي استقبله المراقب هبط فجأة لأن مصدر الصوت بدأ في الاعتماد عنه في هذه اللحظة .

---

(★) لا تظهر الأسقف المغطاة بالألواح الخشبية لاسـة مثل تلك الحديدية ، ومع ذلك يمكن للمراقب المتمرن أن يكتشفها بسهولة .

ولا يلاحظ المراقب الواقف على مسافة كبيرة من السكة الحديدية أى تغير فى درجة الصفارة لأن اتجاه حركة القطار بالنسبة له لا يتغير كثيرا .

وقد تم التأكيد العملى لوجود ظاهرة دوبلر فى البصريات أساسا أثناء المشاهدات الفلكية التى أظهرت امكانية استخدام هذه الطريقة فى قياس سرعة النجوم بالنسبة للأرض . وقد قام بيلو بولسكى بأول الأبحاث العملية على هذه الظاهرة فى سنة ١٩٠٠ ثم جوليتسين فى سنة ١٩٠٧ . وقد استخدم بيلو بولسكى مرآيا دوارة كمصدر متحرك ، فعندما تتحرك المرآة ، يبدو مصدر الضوء كما لو كان متحركا بسرعة تساوى ضعف سرعة المرآة لأن الطريق الذى يقطعه الضوء من المصدر الى المراقب يقل بسرعة تعادل ضعف السرعة التى تقل بها المسافة من المراقب الى المرآة . وباستخدام تصميم عبقري للمرآة ، لم يبين بيلو بولسكى ظاهرة دوبلر عمليا فى معمله فحسب بل أكد الأرقام التى تنبأت بها النظرية بدقة كبيرة .

ويفسر التكنيك الذى اتبعه بيلو بولسكى طريقة استخدام ظاهرة دوبلر فى الرادار للتفريق بين الأهداف المتحركة والثابتة ، وينظر هدف الرادار المتحرك المرآة المتحركة .

والخلاصة أنه نتيجة لظاهرة دوبلر ، يختلف تردد الموجات اللاسلكية المنعكسة من الأهداف المتحركة نحو جهاز الرادار أو بعيدا عنه عن ذلك الذى يشعه الجهاز . ويعتمد فرق التردد هذا على النسبة بين سرعة اقتراب الهدف العاكس أو ابتعاده وسرعة الضوء ، ولهذا يكون هذا الفرق صغيرا جدا ولا تستطیع أجهزة الاستقبال اللاسلكية العادية أن تشع به ، فهى تستقبل الاشارات التى لم يتغير ترددها والمنعكسة من الأهداف الثابتة وكذلك الاشارات التى تغير ترددها من الأهداف المتحركة فى وقت واحد .

وقد ابتكرت أجهزة استقبال خاصة لاستغلال ظاهرة دوبلر ، ولا تستقبل هذه الأجهزة - نتيجة لاستخدام دوائر خاصة - الموجات اللاسلكية التى بنفس التردد الذى يشعه جهاز ارسال الرادار والمنعكسة من الأهداف الثابتة . وتمرر هذه الدوائر أساسا الاشارات ذات التردد المختلف بحيث تظهر شاشات رادار دوبلر اشارات الصدى من الأهداف المتحركة أوضح من الاشارات المنعكسة من الأهداف الثابتة .

وكانت النتيجة أن ظهرت صور المركبات المتحركة يوضح على شاشات رادار دوبلر بينما تختلط بصور الأشياء المحيطة بها في الأجهزة العادية .

## معركة الرادار

يسبق الاختراعات الكبرى تطور تدريجي في العلوم والهندسة ، وقد اعتمد الرادار على أسس معروفة كما أنه يستخدم مكونات تنتج في معظم الدول بكميات كبيرة ، لهذا لم يكن عجباً أن يتطور الرادار في كل الدول الصناعية في وقت واحد .

ففي سنة ١٩٣٩ كان لدى ألمانيا بالفعل حوالي ٦٠٠٠ جهاز رادار تعمل على موجة طولها ٥٠ سنتيمترا ، وفي عملية دنكرك ، أسر الألمان عينات من معظم أنواع الأسلحة الانجليزية ، وكان بينها أجهزة رادار انجليزية تعمل على موجات طولها ٣ - ٤ مترا ، فاقتنع الألمان بأن الأنواع الانجليزية أردأ بكثير مما يملكون ، فأوقفوا كل الأبحاث المقصود منها إتقان تكتيك الموجات السنتيمترية .

وقد أثبت سير الحرب أن غطسة جنرالات هتلر كلفتهم غالبا في هذا المجال أيضا فقد تأخروا في صناعة الرادار بشكل ميتوس منه .

وفي سنة ١٩٣٩ ، سبب تفوق ألمانيا في الرادار خسارة للانجليز والأمريكيين بلغت ١٠ - ١٢٪ من قاذفات القنابل المشتركة في كل غارة كبرى على ألمانيا . فاصبحت مسألة إيجاد وسيلة لمقاومة الرادار ضرورة ملحة .

ثم وجه العلماء طريقة جميلة لتضليل العدو . ففي يوم ما تلقى أحده أسراب قاذفات القنابل همرا لحمل أثقال من سلاح سرى جديده بدلا من القنابل وذلك قبل غارة من الغارات الكبرى على ألمانيا . وكم كانت دهشة رجال التسليح الذين عملوا في تعبئة الطائرات عندما وجدوا أن ما طلب منهم أن يفسعوه في الطائرات لم يكن سوى رزم من الورق الخفيف مثل رزم النشرات المطبوعة .

وطار السرب الى هدفه ، وقبل اقلاع قاذفات قنابل الحلفاء الرئيسية بوضع دقائق دوى صوت صفارات الإنذار في معظم مناطق

ألمانيا ، إذ أبلغت عدة محطات للرادار عن عدد ضخم من طائرات الحلفاء تتحرك نحو حوض نهر الرور - أحد المراكز الصناعية الكبرى في ألمانيا - من عدة جهات ، وقد أبلغ المراقبون في محطات الرادار عن عشرات الآلاف من الطائرات - ودب الذعر في القلوب ، وصدرت الأوامر إلى الطائرات المقاتلة بالاقلاع لاعتراض الطائرات المغيرة بدون أن تدرى القيادة الألمانية إلى أين ترسلها .

وبعد ساعة تقريباً كان الوقود قد نفذ من المقاتلات ولم تكن القيادة الألمانية قد فهمت بعد غرض هذه الكميات الضخمة من طائرات العدو ، إذ بدلا من أن تطير إلى أهدافها مباشرة ، ظلت تحوم ببطء في الأماكن التي اكتشفت فيها ، وزاد التوتر في القيادة الألمانية ، وفي هذا الوقت كانت القوات المتحالفة قد اتجهت إلى الشمال ووجهت ضربة من أعنف الضربات إلى هامبورج . وذهل الألمان ، بينما لم يتكبد الحلفاء أي خسائر تقريباً .

ولم يتضح الأمر إلا في الصباح التالي عندما وجدت أجهزة الورق ملصق بها رقائق من الألومنيوم على الأرض (\*) . فقد أسقطت طائرات الحلفاء كميات كبيرة من هذه الأشرطة ، وأظهرت موجات أجهزة الرادار الألمانية عندما انعكست من هذه الأشرطة اشارات على شاشات الرادار تشبه تلك التي تولدها الأعداد الكبيرة من الطائرات .

وقد أثبتت هذه الوسيلة الجديدة أنها فعالة جدا ، ومنذ ذلك الحين اعتاد الحلفاء أن يسقطوا كميات كبيرة من الورق المغطى بالرقائق المعدنية قبل كل غارة مما يريك الدفاع المضاد للطائرات الألماني . وكانت الطائرات المتقدمة تسقط أحيانا هذا الورق المغطى برقائق المعدن ، وكان هذا يغطي الطائرات التي تتلوها بما يشبه « شبكة التمويه » ، إذ تولد موجات الرادار المنعكسة من الورق سحباً على شاشات الرادار بسبب هذا الورق المغطى بالرقائق المعدنية لا يستطيع المراقبون أن يروا خلالها الطائرات . وكان نتيجة لهذا أن انخفضت خسائر أسراب قاذفات القنابل بشكل ملحوظ .

ويسمح رادار دوبلر برؤية حدوث الطائرات المتحركة عبر اشارات التشويش الناتجة من الأشرطة التي تكون عديدة الحركة تقريباً .

---

(\*) بالإضافة إلى الورق الملصق به شرائح من الألومنيوم ، تستخدم رقائق من الألومنيوم بكثرة أيضا .

ومن وسائل مكافحة الرادار التي انتشر استخدامها أيضا التشويش على رادار العدو بتشغيل جهاز ارسال بنفس تردد محطة الرادار الخاصة به . فحينئذ يعمل جهاز الارسال هذا ، لا تستطيع أجهزة الاستقبال التقاط اشارات الصدى الضعيفة لأنها تكون غارقة في اشارات جهاز ارسال التشويش القوية .

وهناك طريقة أخرى أيضا ، وقد نفذت بالفعل الى حد ما أثناء الحرب ، وهي استخدام طلاء غير عاكس .

فإن المواد المختلفة تعكس الموجات اللاسلكية بدرجات مختلفة ، وهناك مواد تعكس الموجات اللاسلكية بضعف شديد ، ولكن يجب أن تكون طبقة المادة الممتصة سمكية نسبيا إذا أردنا أن تكون الكمية المنعكسة صغيرة حقا ، وهذا يجعل استخدام مثل هذه الأغلفة صعبا وهنا هو السبب في أن هذه الطريقة لم ينتشر استخدامها منذ ذلك الحين .

وبعكس هذه الطريقة تماما ، تستخدم عواكس مصممة تصميميا خاصة تعكس صدى قويا ، ويوضع مثل هذه العواكس في القفار أو على أطراف في البحيرات يمكن توجيهه لتباعد قاذفات قنابل الأعداء الى هذه الأهداف المزيفة .

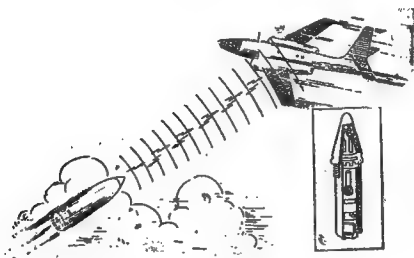
وقد كانت الطائرات المقاتلة محدودة بالعمليات النهارية في بداية الحرب ، وقد كان هذا سببا في تحول الألمان - بعد الخسائر الفادحة التي تكبدوها في الغارات الجوية النهارية على لندن في بداية الحرب - الى الهجوم الليلي .

ولكن سرعان ما مكن تطوير الرادار من صناعة أجهزة خفيفة وصغيرة للدرجة التي سهلت تركيبها في المقاتلات . وهنا دارت الدائرة ، فبالاستعانة بالرادار أسقط طيارو المقاتلات قاذفات القنابل ليلا بنفس السهولة التي كانوا يسقطونها بها نهارا ، وبأمان أكثر لأن الطائرات الألمانية - التي لم تكن قد زودت بالرادار في ذلك الوقت - لم تكن تستطيع ايجادهم . وقد وضع ظهور المقاتلات المزودة بالرادار حدا للغارات الجوية الليلية الضخمة على لندن .

ولكن سرعان ما زودت قاذفات القنابل أيضا بأنواع خاصة من الرادار ساعدت المدفعيين فيها على اكتشاف المقاتلات واسقاطها . وهنا بدأت معركة الرادار مع الرادار .

فقد بدأ كلا الجانبين في تزويد طائراته بأجهزة ارسال خاصة . تعمل بنفس موجة رادار الأعداء وتتداخل معها . وقد كسب هذه المعركة أكثرهما مهارة واستعدادا .

وقد قام الحلفاء بجهد ضخم في مجال الرادار ، ففي نفس الوقت الذي أطلق فيه هتلر « سلاحه السري » ، الصاروخ ف - ١ ، كان لديهم بالفعل جهاز لاسلكي جديد أثبت أنه العدو مميت لهذا الصاروخ . وكان هذا الجهاز غريبا ، يتكون من مولد لموجات سنثيمترية موضوع في قنبلة مضادة للطائرات مع بعض الأجهزة المساعدة . فكانت كل قذيفة تحتوي على خمسة صمامات الكترونية صغيرة ومكونات أخرى ومنبع قدرة وهوائي ( شكل ٢٨ ) . وعندما تقترب القذيفة الى مسافة ١٥ - ٢٠ مترا من الطائرة ، تنفجر بفعل هذا الجهاز اللاسلكي أوتوماتيكيا وتغمرها بالاشتظايا ، وقد زادت فاعلية المدفعية المضادة للطائرات الى درجة كبيرة عندما أمكن التحكم في المدافع بالرادار وزودت القنابل بالمفجرات اللاسلكية ، ويكفي أن نقول أنه في نهاية الحرب ، لم يكن يصل الى منطقة الهدف الا أربعة صواريخ من كل مئة .



( شكل ٢٨ ) - الصمامة اللاسلكية

وتعتبر الصمامات الالكترونية وباقي المكونات التي يمكنها أن تتحمل صدمة انطلاق القذيفة العظيمة من معجزات الهندسة حقا .

ومنذ بداية الحرب واجه مهندسو اللاسلكي مشكلة أخرى هامة جدا ، فقد كان عليهم أن يجدوا طريقة تميز بين طائرات العدو وظائراتهم الخاصة على شاشة الرادار . ولم يكن هذا ضروريا للقادة فقط كي يراقبوا ويوجهوا المعارك الجوية وانما أيضا - وزبنا بدرجة أكبر من

الأهمية - المدفعية المضادة للطائرات الذين قد يستقون طائراتهم خطأ . وهذا يسرى أيضا على البحرية .

ولحل هذه المشكلة ، بدأ كلا الجانبين فى تزويد مركباته البحرية وطائراته بمحطات لاسلكية اضافية خاصة منخفضة القدرة . وبمجرد أن تستقبل هذه المحطة اشارات من جهاز ارسال رادار صديق ، تبدأ فى الحال فى ارسال اشارات بتردد خاص للرد عليها ، وتظهر على شاشة الرادار - بجانب اشارة الصدى - اشارة أخرى مميزة . وقد ابتكرت أخيرا أنابيب خاصة تبين اشارة التمييز بلون مختلف عن اشارة الصدى . وقد قللت هذه الأنابيب ذات اللونين الأخطاء المحتملة الى حد كبير واثبتت سهولة فى التشغيل ، وبين المثال التالى أهمية تمييز الصديق من العدو . ففي ٧ ديسمبر سنة ١٩٤١ ، هاجمت حاملات الطوربيد وقاذفات القنابل اليابانية القاعدة البحرية الأمريكية فى بيرل هاربور ، فكيف أمكن لهم أن يهاجموا هذه القواعد فجأة بالرغم من أنها كانت مزودة بالرادار ؟ أظهر التحقيق أن مراقبى الرادار اكتشفوا الطائرات المقتربة بكىات كبيرة ، ولكن نظرا لعدم وجود نظام للتعرف عند الأمريكين فى ذلك الوقت ، فقد افترض المراقبون أن هذه الطائرات طائرات أمريكية تقوم بحلى المناورات ، ونتيجة لهذا لم تحذر القيادة من العدو المقترع .

وفى الجزء الأول من الحرب فقلت بريطانيا والولايات المتحدة عددا كبيرا من قاذفات القنابل لا بسبب المدفعية المضادة للطائرات الألمانية ولا بسبب المقاتلات الألمانية ، بل فقد الكثير من قاذفات القنابل أثناء الاقلاع - وبصفة خاصة أثناء الهبوط فى مطاراتها وهذا صحيح . مهما بدا غريبا .

فليس من السهل ارسال مئات الطائرات بالليل أو فى الضباب من عدة مطارات ، كما أنه ليس من السهل عليها أن تتجمع فى مكان معين ، فإذا كانت الطائرات تقلع بمعدل طائرة كل دقيقتين فإن عملية اقلاع ٦٠ طائرة من مطار واحد تستغرق سبعين كاملتين وهذا يعنى أن تستهلك أول طائرة أقلعت من المطار كمية قيمة من الوقود لأكثر من ساعتين فى التحليق فوق المطار انتظارا لباقي الطائرات .

ويكون الموقف أسوأ عندما تضطر الطائرة - عند عودتها من العملية بخزانات وقود فارغة تقريبا - الى الانتظار لمدة ساعتين أو ثلاثة إذا كان الجو رديئا حتى تعود الى الأرض . فلا عجب إذن أن اضطرت

الكثير من هذه الطائرات الى « الهبوط اضطراريا » على الغابات والمباني  
... الخ بالليل أو عند وجود ضباب ، كذلك لم يكن من السهل تجنب  
اصطدام الطائرات بعضها ببعض في الجو .

وقد ساعد تزويد الطائرات بأجهزة رادار لبيان المواقع الاسقاطية  
الطيارين على العثور على الأهداف وكذلك مطارات قواعدهما بسرعة ودقة ،  
بينما ساعدت أجهزة لاسلكية خاصة على الاقلال كثيرا من عدد الحوادث  
أثناء الاقلاع والهبوط . والآن يستطيع الطيار أن يقلع ويهبط بالليل  
وفي الضباب عندما تنعدم الرؤية . ويمكنه أن يقود الطائرة بالعدادات  
فقط ، بينما يمكن لمجموعة من الأجهزة تشتمل على معدات لاسلكية من  
نوع الرادار أن تقود الطائرة آليا بدون أى طيارين مع ضمان السلامة  
الكاملة .

وتحمل قاذفات القنابل الحديثة رقما قياسيا من مختلف أجهزة  
الرادار والمحطات اللاسلكية . ومن بينها أجهزة رادار توجه نيران  
المسافع وأجهزة بيان الموقع الاسقاطي للملاحين وجهاز تصويب للقنابل  
يمكن من القاء القنابل من فوق - السحاب أو بالليل وأجهزة الاقلاع  
والهبوط الأعمى وأجهزة لاسلكية لقياس الارتفاع بدقة وتعتمد هذه  
الأجهزة على انعكاس الموجات اللاسلكية من الأرض ومحطات لارسال  
اشارات تعيين الهوية وأجهزة تحذر الطيار من أن طائرته قد اكتشفت  
بوساطة رادار الأعداء وأجهزة تبين للطيار أنه قد هوجم من الخلف .

وقد غير ظهور الرادار الطرق التي كانت متبعة للقيام بالعمليات  
البحرية وحدد بداية المرحلة للسيطرة على خطوط المواصلات البحرية .

ففي نهاية الحرب العالمية الأولى ، وقبل أن تسلمها الولايات المتحدة ،  
كانت بريطانيا على وشك الهزيمة نتيجة للعمليات الناجحة للغواصات  
الألمانية .

وقد كان نفس الموقف على وشك أن يتكرر في بداية الحرب العالمية  
الثانية عندما فقدت بريطانيا ثلاثة أضعاف ما يمكن أن تبنيه من  
السفن . ولكن نتيجة لاستخدام الرادار والتطور الذي حدث في بناء  
السفن ، كان الحلفاء في سنة ١٩٤٣ يبنون من السفن أضعاف  
ما يفقدونه .

ويمكن رؤية دور الرادار وأهميته من الأرقام التالية : من الغواصات  
الألمانية البالغ عددها ١١٧٤ غرصة غرقت ٧٨٥ وبلغت الخسائر في  
الأرواح ٣٦٠٠٠ .



وفي بداية الحرب ، كانت الحسائر في الغواصات الألمانية طفيفة نسبيا ، وكان هذا نتيجة لأنها لم تكن تطفو لتجديد هوائها الا بالليل فقط حيث لا يمكن أن يراها المراقبون البحريون ولا الجويون .

ولكن بمجرد أن زودت طائرات الحلفاء بالرادار ، أصبح من السهل على الطيارين أن يكتشفوا الغواصات الطافية وأن يفرقوها ، سواء بالليل أو في أية حالة من حالات الطقس . ولكافة الرادار ، بدأ الألمان في تزويد غواصاتهم بأجهزة استقبال يمكنها استقبال نبضات أجهزة الرادار على الطيارين أن يكتشفوا الغواصات الطافية وأن يفرقوها ، سواء بالليل الجوية البريطانية .

فبمجرد أن يلتقط جهاز الاستقبال نبضات الرادار التي تدل على اقتراب الطائرة ، تفوص الغواصة في الحال ، ولما كانت الغواصة تستقبل الإشارة القادمة من الطائرة مباشرة ، بينما تستقبل الطائرة إشارة الصدى الضعيفة المنعكسة من الغواصة ، فقد كانت الغواصة تستطيع أن تكتشف اشارات الرادار على مسافة أبعد بكثير من مدى جهاز الرادار نفسه ، وكان هذا يمطيها الفرصة لتفوص قبل أن تستطيع الطائرة اكتشافها .

ولكن بعد أن زودت الطائرة برادار يعمل على موجة طولها ١٠ سنتيمترات ، أصبحت أجهزة الاستقبال المركبة في الغواصات عاجزة عن استقبال هذه الموجات ، وأصبحت في الواقع مصدرا للوهم بالأمان، وعادت الغواصات تدمر قبل أن تسمح لها الفرصة للاستعداد للهجوم قبل وقوعه .

وعندما زاد قلق الألمان تجاه الحسائر المتزايدة ، أرسلوا غواصة مجهزة تجهيزا خاصا وعليها مجموعة من الفيزيائيين ورجال اللاسلكي الذين توصلوا الى أن الطيران البحري التابع للحلفاء قد زود برادار طول موجته ١٠ سنتيمترات .

وانتهى الخبراء الى أن الطريقة الوحيدة لضمان سلامة الغواصات هي تحريرها من ضرورة الطفو .

بعد ذلك زودت الغواصات الألمانية بأنايبب تهوية خاصة (شنوركل) تسمح لها بتجديد هوائها وهي غاطسة تحت الماء . وكان هذا الشنوركل ( أو المنخار ) يمتص الغواصات بالهواء النقي ويخرج غازات اعدام ماكينات المديزل الى الهواء الخارجي . وبهذا أصبحت أجهزة الرادار التي كان يمكنها اكتشاف أية غواصة طافية بسهولة عاجزة عن اكتشاف هذه المناخر الصغيرة . وبالإضافة الى هذا زود الألمان غواصاتهم بأجهزة

استقبال يمكنها أن تستقبل اشارات رادار الاعداء الجوى ، وبمجرد سماع هذه الاشارات ، تفوض الغواصة فوراً • وعادت الحسائر فى الغواصات للتناقص مرة ثانية •

وبمجهودات العلماء والمهندسين الجبارة ، زودت الطائرات البحرية للحلفاء بأجهزة رادار تعمل على موجة طولها ثلاثة سنتيمترات فقط . وأصبحت هذه الأجهزة قادرة على اكتشاف أفابيب التهوية فى غواصات الحلفاء من مسافة ١٦ - ٢٠ كيلو متراً ، بينما لا تستطيع أجهزة الاستقبال الألمانية التقاط اشاراتها • وعادت الغواصات مرة أخرى فريسة سهلة للطائرات التى « ترى كل شىء » •

ومرة أخرى أرسل الألمان معبلاً غاصصاً ولكنه غرق فى اليوم العاشر ، وأسر الحلفاء الشخص الوحيد الذى نجا وكان الفيزيائى المسئول عن المعمل • وبمجرد أن تأكد الألمان من أن الغواصة قد فقدت ، أرسلوا مجموعة أخرى من العلماء ، ولكن هذه الغواصة انغرقت أسرع من الأولى . والى أن انتهت الحرب لم يعرف الألمان أن السبب فى خسائر أسطول الغواصات كان أجهزة رادار تعمل على موجة طولها ثلاثة سنتيمترات •

ولم يقتصر نشاط الرادار على المعركة بين الطائرات والغواصات ، فقد زودت كل سفينة حربية بعدد كبير من أجهزة الرادار ، وزود بعضها بأجهزة بيان الموقع الاسقاطى بحيث أصبح الملاح قادراً على رؤية الشاطئ والصخور وجبال الثلج والسفن الأخرى المقتربة بالليل وفى أى طقس •

وقد زودت المدفعية أيضاً بأجهزة رادار خاصة ، بعضها لا يختلف عن تلك المستخدمة مع المدفعية المضادة للطائرات ، والبعض الآخر مصمم خصيصاً لتوجيه المدفعية كبيرة العيار • وكانت هذه الأجهزة هى السبب فى إصابة السفينة الحربية الألمانية شارنهورست إصابة مباشرة من أول مجموعة قنابل أطلقت من المدفعية الثقيلة للسفن البريطانية •

وقد سهل العدد الكبير من أجهزة الرادار من جميع الأنواع القيام بهجوم دقيق ومركز وكذلك تنظيم عمليات الاقتراب والنزول على البر • فمن الأمور الواضحة تماماً أنه لولا الرادار لما أمكن القيام بعمليات انزال الجنود على البر بأعداد كبيرة ، نظراً لخطر اصطدام السفن ببعض والصعوبات التى تواجه نقل الجنود وانزالهم على البر عندما يكون البحر حاجباً أو فى المياه الملتفة قرب الشواطئ المحصنة •

وقد خلق عصر التفافات عددا من المشاكل المعقدة للرادار والملاحه  
اللاسلكية . فمن المعروف جيدا أن دقة مسار الصواريخ وبالتالي قيمة  
انحرافها عن الهدف تعتمد أساسا على أول مرحلة في انطلاقها . لهذا  
ابتكرت عدة نظم للتحكم في إطلاق الصواريخ تدخل في اعتبارها خواص  
طيرانها .

ولا تقل مشكلة اعتراض صواريخ العدو وتدميرها في الأهمية عن  
المشكلة السابقة ، وتزيد السرعات الهائلة للصواريخ عابرة القارات  
وارتفاعاتها الكبيرة من تعقيد المشكلة أكثر .

ويمكن التغلب على هذه الصواريخ بالاستعانة بصواريخ خاصة  
يتحكم الرادار في إطلاقها وتوجيهها . وفي أحد النظم تطلق محطة رادار  
الأرضية صواريخ الاعتراض في الاتجاه المطلوب أوتوماتيكيا بعد تحديد  
موقع الهدف وسرعته واتجاهه ، وبعد ذلك يقوم جهاز رادار صغير مدمج  
في صاروخ الاعتراض بالتحكم في اقترابه من الهدف وتدميره .

وفي بعض النظم الأخرى يزود صواريخ الاعتراض بجهاز استقبال  
رادار فقط ، وفي هذه الحالة تتبع محطة الرادار الأرضية الهدف بشعاعها  
بعد تحديد موقعه . ويلتقط جهاز الاستقبال في صاروخ الاعتراض  
النبضات المنعكسة من الهدف ويشغل الأجهزة الأوتوماتيكية وبهذا يكون  
اعتراض الهدف مؤكدا .

وهناك نظم أخرى لا يزود فيها صواريخ الاعتراض برادار ، وفي  
هذه الحالة تقوم محطة الرادار الأرضي بتتبع كل من الهدف وصاروخ  
الاعتراض وتوجه الأخيرة أوتوماتيكيا نحو الهدف .

## الرادار في زمن السلم

يستخدم الرادار بكثرة في زمن السلم أيضا ، فهو يراقب الحدود  
البرية والبحرية بصفة مستمرة ، كما يمكن من استمرار المواصلات الجوية  
في جميع حالات الطقس ، مكونا وسيلة يعتمد عليها لتحديد الاتجاه  
تعديدا مؤكدا وواقيا الطائرات من الاصطدام بالجبال والأبراج العالية  
والطائرات الأخرى . وهناك أجهزة لاسلكية خاصة تمكن الطائرات من  
الاقلاع والهبوط أوتوماتيكيا ، وربما تقاد طائرات تقل البضائع في  
المستقبل آليا ويدون أفراد .

والرادار يقي السفن عابرة المحيطات المزودة به من التصادم بالسفن الأخرى أو جبال الثلج ، ويمكنها من دخول أى ميناء والابحار منه مجتازة أعقد الممرات البحرية بينما تكون الرؤية منعقدة .

وقد أدخل الرادار نظاما جديدا تماما على وسائل الملاحة ، وهو الملاحة اللاسلكية . فان المشكلة الرئيسية للملاحة ، والتي تعود الى أقدم العصور ، هي تحديد مكان السفينة فى البحار الكبيرة . فان قائد السفينة فى عرض المحيط أو الملاح الجوى الذى لا يستطيع رؤية الأرض لا يجد ما يمكنه من تحديد موقعه . والى عهد قريب كانت الملاحة تعتمد أساسا على البوصلة مع تقدير الموضع بالحساب (★) . وفى هذه الحالة يجد الملاح مكان السفينة أو الطائرة بالنسبة لآخر علامة رآها على الأرض . وإذا كان الجو صحوحا يمكن للملاح أن يستعين بالأجرام السماوية وبعض الرصدات الفلكية فى تحديد موقعه . ولكن تحديد الاتجاه بالاستعانة بالحساب وقرءات البوصلة والرصدات الفلكية ليس دقيقا بالدرجة الكافية مما يجعل الإبحار أو الطيران طويل المدى خطرا .

وقد لبي تطور تكتيك الرادار كافة الاحتياجات المطلوبة لنظام دقيق للملاحة اللاسلكية . فقبل الحرب العالمية الثانية بوقت طويل ، ابتكر الأكاديميان ل . ي . هاندلستام و ن . د . بابالسكى فى الاتحاد السوفيتى طريقة بديعة لقياس المسافات بالاستعانة بالموجات اللاسلكية ، وكانت هذه الطريقة على درجة عالية من الدقة ، وقد فتحت الطريق لمجال جديد لاستخدام تكتيك اللاسلكى ، وهو المساحة اللاسلكية مما مكن من الحصول على درجة عالية من الدقة والكفاية فى العمليات المساحية .

أما فى باقى الدول فلم تبدأ هذه الطريقة الا أثناء الحرب .

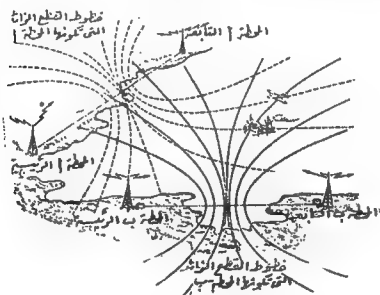
وبتطور تكتيك الرادار النبضى ، سرعان ما استخدمت طريقة النبضات فى الأغراض الملاحية أيضا . اذ تستطيع معدات الرادار تحديد الاتجاه والمسافة بدقة وهذا هو كل ما توجوه الملاحة .

ويشتمل أحد النظم الحديثة للملاحة اللاسلكية على ثلاث محطات

---

(★) وبالإضافة الى البوصلة المغناطيسية العادية ، هناك أيضا البوصلة الجيوسكوبية . وما يسمى بالبوصلة اللاسلكية التى تمكن من تحديد اتجاه الحطة اللاسلكية المستقبلية . ولكن تقل دقة البوصلة اللاسلكية بسرعة بازدياد المسافة بينها وبين محطة الإرسال وخصوصا أثناء الطيران فوق أرض جبلية .

لاسلكية تعمل معا وتوضع في ثلاث نقاط تبعد كل منها عن الأخرى عدة مئات من الكيلو مترات . وتزود السفينة أو الطائرة بثلاث أجهزة استقبال كل منها موائل على إحدى محطات المقارنة الثلاث . وتنفذ الإشارات المستقبلية إلى جهاز خاص يدار بين زمن وصول الإشارة القادمة من أقرب محطة آلية وزمن وصول كل من الإشارتين القادمتين من المحطتين الأخرين ويحدد أوتوماتيكيا مكان السفينة أو الطائرة ، وأخيرا يوقع المكان على خريطة ( شكل ٢٩ ) . والدقة في هذا النظام الملاحي اللاسلكي عالية جدا ، ويمتد مداها الآن إلى ألفي كيلو مترا . ومن السمات الهامة لهذا النظام أن السفينة أو الطائرة لا تحتاج لإرسال أية إشارات لاسلكية لكي تستطيع تحديد موقعها وبالتالي لا تكشف عن وجودها .



( شكل ٢٩ ) : خريطة لموقع ما تبين شبكة القطع الزائد لنظام ملاحي لاسلكي .

وقد ابتكرت أخيرا طريقة تمكن من استخدام محطات التلفزيون الموجودة حاليا في الأغراض الملاحية . ولهذا الغرض تزود هذه المحطات بأجهزة اضافية يسيطه لضمان التشغيل الجماعي . وبهذا يمكن تزويد الطائرات التي تطير على ارتفاع حوالى ٦٠٠٠ متر وعلى مسافة تصل إلى ٦٥٠ كيلو مترا بالوسائل الملاحية بدون مصاريف كثيرة وبدون تدخل مع التشغيل العادى لمحطات التلفزيون . أما السفن البحرية والنهرية فيمكنها استخدام هذا النظام إلى مسافة ١٠٠ كيلو مترا فقط ، وذلك بسبب خواص امتداد الموجات اللاسلكية فوق القصيرة التي تكلمنا عنها في الفصل السابق .

وتستخدم محطات رادار خاصة بنظام معين يعمل على موجات طولها:  
 ثلاثة سنتيمترات في الأغراض الملاحية بنجاح ( شكل ٣٠ ) . وقد  
 ذكرنا من قبل أن شاشات هذه الأجهزة تملأ صورة للأرض التي تظهر  
 فوقها الطائرة أو الشاطئ الذي تقترب منه السفينة . وبمقارنة هذه  
 الصورة بخرائط أجهزة تجهيزا خاصا يمكن للملاح أن يحدد موقعه ويوقع  
 مساره بدقة تقرب من الدقة التي يحصل عليها أثناء النهار .  
 وترتفع كفاءة مثل هذا الجهاز جدا اذا زود الطريق بمنارات لاسلكية:



( شكل ٣٠ ) : محطة رادار مبنى للمواقع الاستراتيجي - ١٤ - من -

خاصة . وترسل هذه المحطات المستجيبة اشارات شفرية فقط عندما تستقبل اشارة استفهام من جهاز الرادار من الطائرة . وتظهر اشارات هذه المنارات بوضوح على شاشات مبيئات المواقع الاسقاطية ، مما يمكن الطيار من توجيه الطائرة بدون أى شك فى طريقها الصحيح .

وعندما تقترب الطائرة من المطار بالاستعانة بالمعدات الملاحية المركبة فيها وتدخل منطقة عمل المعدات الأرضية ، تكتشفها محطة تحديد الموقع على بعد ١٠٠ كيلو مترا تقريبا ، ويسأل المراقب الطائرة بالراديو عن هدفها ، فإذا كانت الطائرة متجهة الى مطاره ، يعطيها الاذن بالهبوط ، أو يرسلها الى منطقة الانتظار اذا لم يكن هناك مدرج خال .

وتعتبر لحظة تلامس عجلات الطائرة بالأرض أهم لحظات الطيران ، وبخاصة اذا كانت الرؤية منعدمة . وفى هذه الحالة تتم عملية الهبوط بالاستعانة بمعدات خاصة تحدد ارتفاع الطائرة واتجاهها بدقة عالية .

فإذا لم تكن الطائرة مزودة بأجهزة مهبوط أعمى ، ترسل اليها تعليمات الهبوط باللاسلكى من الأرض ، وفى هذه الحالة يحدد المراقب وضع الطائرة بالنسبة للمدرج بوساطة المعدات الأرضية ، وإذا انحرفت عن الاتجاه الصحيح أو الارتفاع اللازم ، ترسل التعليمات بالراديو ، وبهذه الطريقة يمكن أن يهبط الطيار بأمان باتباع تعليمات المراقب .

هذا ويمكن أن يفشل هذا النظام فى المطارات الكبيرة المزدهجة ، إذ لا يستطيع المراقب أن يعطى تعليمات لأكثر من طائرة واحدة فى الوقت الواحد . ولهذا السبب تضطر المطارات الكبيرة الى استخدام عدد من المراقبين أو وضع نظام للهبوط حسب الأولوية ، الأمر الذى يسبب ضياع الوقت والوقود .

وبالإضافة الى هذا النظام البسيط للهبوط الأعمى ، هناك عدد من النظم المختلفة للهبوط الأعمى لا تحتاج لمساعدة المراقب . ولكن هذا يتضمن تزويد الطائرة بمعدات خاصة ، وتشتمل هذه النظم على منارة لاسلكية سميتية تحدد اتجاه الهبوط بالنسبة لخط وسط المدرج ، وما يسمى بمنارة مسار الانحدار وتحدد زوايا الانحدار التى تجعل عجلات الطائرة تلمس أول المدرج بنعومة .

وتزود الطائرة عادة بمعين خاص يبين للطيار متى انحرف عن مسار الانحدار المطلوب . ويسمح هذا النظام للطيار أن يهبط بدون أن يرى الأرض .

وتحتوى الأنواع المتقدمة من هذا النظام - علاوة على مئين مسار الانحدار - على معدات هبوط أعمى ترسل الاشارات المناسبة للطيار الآلى . وهذا يعنى إمكان الهبوط آليا تماما وبدون أى تدخل من أى انسان .

وحتى بعد أن تهبط الطائرة على المدرج تستمر تحت « حراسة » أجهزة الرادار . ففي المطارات الكبرى ، تقلع الكثير من الطائرات وتهبط فى وقت واحد ، لهذا يجب أن يكون المراقب على دراية مستمرة بالمدارج ومناطق الاقتراب المشغولة ويجب أن يوقت توجه الطائرات الذاهبة الى نقط البداية على المدرج والواصله الى مناطق التفريغ والانتظار ، وذلك لضمان الأمن والسلامة . ويتم هذا بالاستعانة بأجهزة رادار خاصة قصيرة المدى ذات قوة تحليل عالية تمكن المراقب من رؤية صورة كاملة للمطار بكل ما فيه من طائرات وسيارات الوقود وعربات نقل البضائع ..... الخ .

وتزود سفن الأسطول التجارى السوفيتى بأجهزة رادار خاصة طراز « سنفور » و « تيتون » مصممة للأغراض الملاحية . وتمكن هذه المحطات من قيادة السفن فى الظروف الخطرة بالقرب من الشواطئ الخطرة أو قريبا من مداخل الموانئ والقنوات كما تساعد على تجنب الاصطدام بالسفن الأخرى وجبال الثلج ، وذلك كله عند انعدام الرؤية .

ويمكن استخدام مثل هذه المحطات اللاسلكية أيضا فى الملاحة فى الأنهار الكبيرة والخزانات . فبالإضافة الى المنارات وعلامات ارشاد السفن المعتادة ، يزود الطريق بعواكس رادار تعكس الموجات اللاسلكية جيدا بطول ممر الوصول تماما . وتعمل هذه العواكس بنفس الطريقة التى تعمل بها العواكس الزجاجية المستخدمة فى اشارات المرور فى الطرق الخلوية أو الأضواء الخلفية من السيارات .

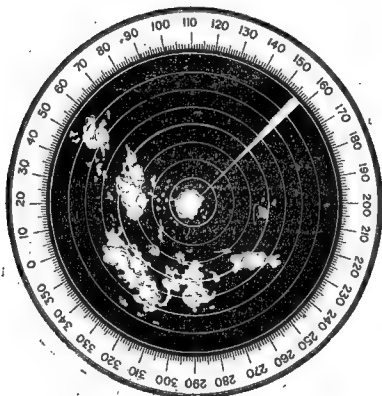
وتركب عواكس منشورية الآن فى عوامات شباك الصيد للمساعدة على العثور عليها . كما تركب منارات لاسلكية خاصة صغيرة داخل الحراب المستخدمة فى صيده الحوت لتسهيل العثور على الحوت القاتل .

ومن الأمور الهامة بالنسبة للمواصلات الجوية وكذلك للمواصلات البحرية والنهرية الحصول على تقارير دقيقة فى الوقت المناسب عن الجو ، ولا تكفى فى هذه الحالة التقارير الجوية العادية التى تذكر متوسط درجة الحرارة وحالة السحب والأمطار لليوم أو الأسبوع التالى . إذ يجب أن يعرف الطيار أو قبطان السفينة فورا كل المعلومات عن العواصف المقتربة .



منه والرياح الهوجاء والأعاصير الحلزونية ومناطق الثلج والسحب  
... الخ .

وتتكون أجهزة الرادار الحديثة التي تعمل في النطاق السنتيمترى  
من اكتشاف السحب والأمطار على مسافة تصل إلى عدة عشرات من  
الكيلو مترات وتحديد زمن وصول العاصفة أو الأعصار الحلزوني بدقة  
تصل إلى دقيقة ( شكل ٣١ ) .



( شكل ٣١ ) : سحب العاصفة على شاشة الرادار .

وبهذا يمكن للطيار الذي يقود طائرة مزودة بمثل هذا الرادار ،  
أن يستعد في الوقت المناسب لمواجهة المطر أو تجنبه . وقد أظهرت  
التجربة أنه يكفي لتجنب عاصفة ما أن تبعد الطائرة عنها بمسافة ١٠ -  
١٥ كيلو مترا وهي أكثر من المطلوب لتحقيق الأمان .

وتساعد هذه المعلومات ، إذا ما أضيفت إلى تحديد اتجاه تيارات  
الهواء وسرعتها بواسطة البالونات التي تتبعها محطات الرادار ، على

زيادة دقة التنبؤات الجوية . وفي بعض الحالات ، يمكن تغذية البيانات الآتية من محطات الرادار وتلك الآتية من الأجهزة الأخرى الى آلة حاسبة الكترونية مباشرة للحصول على تنبؤات جوية لزمن قصير .

والآن يتخذ الرادار طريقه الى مجالات أخرى من مجالات الهندسة ، ففي سنة ١٩٥٧ زودت بعض السيارات بأجهزة رادار خاصة تشغل الفرامل أوتوماتيكيا عندما تقترب السيارة من جسم أمامها ، وتعتمد قوة الفرملة على معدل الاقتراب من ذلك الجسم ، فمثلا اذا كانت السيارة تتخطى مركبة أخرى ، يبطئ جهاز الرادار سرعة السيارة لتجنب الاصطدام ، وفي نفس الوقت يحذر السائق من الخطر ، ويمكن استخدام معدات مشابهة في السكك الحديدية .

ويستخدم الرادار في الأبحاث أيضا ، ومثال ذلك قياس المسافة الى القمر بالاستعانة بأجهزة رادار خاصة أجريت عليها التعديلات اللازمة لهذا الغرض . وكان أول ما ظهرت امكانية القيام بمثل هذه القياسات في المرحلة الحديثة من تطور الهندسة اللاسلكية في سنة ١٩٤٢ على يدى الأكاديميين ل . ي . ماندهلستام و ن . و . بايالكسى ، على أساس حسابى . وكانت المسافة الى القمر مقاسة بالطبع من قبل بوسائل فلكية ، ولكن هذه القياسات معقدة جدا . فهي تعتمد على قياس زوايا نقطة معينة على سطح القمر من نقطتين على الأرض بعيدتين بعدا كافيا والمسافة بينهما معلومة بالضبط . وقد تمكن الفلكيون من تحديد متوسط بعد القمر بدقة بلغت ٢٦ كيلو مترا . وتسمح الطريقة اللاسلكية بقياس هذه المسافة بدقة أكبر ، ولكن المهم هنا بصفة خاصة هو إمكان اجراء هذا القياس بسرعة ومن نقطة واحدة على سطح الأرض مما يمكن من مراقبة التفجر في هذه المسافة مراقبة مستمرة . وقد تمت أول تجربة لاكتشاف الموجات اللاسلكية المنعكسة من القمر في الولايات المتحدة سنة ١٩٤٦ بالاستعانة بجهاز رادار أضيفت اليه تعديلات خاصة لهذا الغرض .

وستتناول في الفصل التالى الفلك اللاسلكى ، وهو علم جديد نشأ أساسا على اكتشاف الرادار . وفي هذا الفرع من العلم يستخدم الفيزائيون فى ارسادهم الفلكية هوائيات ضخمة وأجهزة استقبال حساسة ومعدات أخرى ابتكرت للعمل مع الرادار . وكما سنرى ، لا يعتبر الفلك اللاسلكى علما « بحثا » منعزلا ، فان البيانات التى يعطيها لها أهمية كبرى للرادار والاتصالات اللاسلكية وفي الاستعداد لفزو الفضاء .

## الفلك السياسى

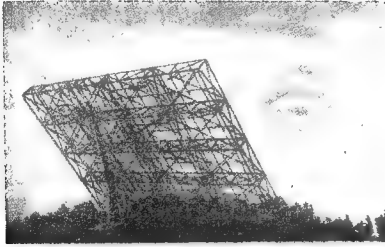
### الاشعاع اللاسلكى للشمس

حدث فى بداية الحرب العالمية الثانية - فى محطات الرادار التى كانت تحرس السواحل الشرقى لبريطانيا وتعمل بالموجات المترية - أن وجد مراقبو الرادار أنفسهم فجأة يواجهون تداخلا غامضا \* وبعد أن ظهر مرة ذات صباح ، تكرر ظهوره عدة مرات ، ودائما فى الصباح بطريقة كانت تعوق اكتشاف الطائرات الألمانية القادمة من الشرق ، أما فى باقى النهار فقد كانت أجهزة الرادار تعمل بطريقة طبيعية .

وقد لوحظ أن ذلك التداخل كان يؤثر على جميع محطات الموجات المترية الموجودة على السواحل الشرقى فى وقت واحد ، بالرغم من أن بعضها كان بعيدا جدا عن البعض الآخر . وقد كان البريطانيون يخشون أن يكون العدو قد وجد طريقة جديدة للتشويش على أجهزة الرادار \* ولكن بعد أن ثبت أن جميع المحطات قد حدثت اتجاه التداخل ووجد أنه ينطبق على اتجاه الشمس ، وصل العلماء الى أن الشمس كانت هى مصدر هذا التداخل . وقد ذكر فى التقارير السرية عام ١٩٤٢ أن شدة هذا التداخل العالية بشكل غير عادى كان لها علاقة بالبقع الشمسية الكبيرة التى لوحظت فى تلك الأيام .

وقد حدثت هذه الملاحظات فيما قبل التاريخ الفلكى اللاسلكى . وظل العلماء لا يعرفون عنها شيئا لزمّن طويل ، اذ لم تبدأ الدراسة المنظمة لذلك الاشعاع القوى بدرجة غير عادية والمرتبط بالبقع الشمسية الا بعد الحرب عندما ظهرت تلك البقعة الضخمة فى فبراير سنة ١٩٤٦ .

وقد كان من رواد تطوير اللاسلكى الفلكى ن . د . د . بابا لكسى ، فقد أحس تماما بإمكانيات ذلك العلم الجديد والاتفاق التى فتحتها ، فعمل بجد - هو ومجموعة من المتعاونين - على ملاحظة الاشعاع اللاسلكى للشمس أثناء الكسوف الكلى الذى حدث فى البرازيل فى ٢٠ مايو سنة ١٩٤٧ .



( شكل ٣٣ ) : مجموعة هوائى تتكون من ٩٦ ثنائى قطب • وقد انشىء فى قاعدة القمر التابعة لمعهد الفيزياء فى اكااديمية العلوم السوفيتية سنة ١٩٤٩ • وينور هذا الهوائى فى زوايا السمات والارتفاع ويستخدم فى الرصدات المنتظمة للشمس بموجة طولها ١٥ مترا •

وفى أثناء هذا الكسوف ، غطى القمر قرص الشمس تماما لمدة خمس دقائق تقريبا ، ومن النادر مشاهدة مثل هذا الكسوف الكلى الطويل • ومكن هذا من دراسة « السطوع اللاسلكى » لسطح الشمس بسهولة • وقد حرمة الموت المفاجيء فى ٣ فبراير سنة ١٩٤٧ من الاشتراك بنفسه فى هذه الدراسات المنظمة ، ومع ذلك فقد وصلت بعثة سوفيتية من فيزيائىى الراديو يرأسها البروفيسور س • ي • خايكين الى البرازيل فى السفينة « جريبيونوف » وقامت بأول رصدات فلكية لاسلكية تمت أثناء كسوف كلى للشمس وحصلت على بيانات قيمة للغاية عن الاشعاع اللاسلكى للشمس : وقد تمت هذه الرصدات باستخدام الموجات المترية ، واستخدم العلماء السوفيت فيها هوائيا يتكون من عدد كبير من ثنائيات القطب تشبه هوائيات أجهزة استقبال أجهزة التلفزيون مع أجهزة استقبال رادار مجهزة خصيصا لهذا الغرض ( شكل ٣٣ ) •

ومنذ ذلك الحين أصبحت كل بعثة مهمتها رصد الكسوف الشمسى. تضم — بالإضافة الى الفلكيين العاديين — لاسلكيين لرصد الاشعاع اللاسلكى للشمس لا على الموجات المترية فحسب بل والدسيمترية والستيمتيرية والمليمترية كذلك • وقد صممت تلسكوبات لاسلكية خصيصا لهذا الغرض سنتكلم عنها فيما بعد • وبالطبع ، لم تعد دراسة الاشعاع اللاسلكى للشمس الآن قاصرة على فترات الكسوف ، بل ان معدات الراديو الحديثة.

تسمح بدراسة الشمس في أى جو من الشروق الى الغروب ، وجدير بالذكر ان تلك الرصدات التي تتم أثناء شروق الشمس وغروبها هي التي أدت الى اقيم البيانات لاعن الشمس فحسب بل عن تركيب الغلاف الجوى للأرض أساسا ، اذ وجد أن التليسكوبات اللاسلكية يمكنها أن ترى الشمس قبل شروقها بزمن قليل وبعد غروبها بزمن قليل ، وهذا نتيجة لانكسار الموجات اللاسلكية التي تضعها الشمس أثناء مرورها في جو الأرض . وينكسر ضوء الشمس أيضا بمروره في جو الأرض ، وتبدو الشمس مسطحة وبيضاوية عند الغروب نتيجة لزيادة انكسار الأشعة باقترابها من الاتجاه الأفقى . وقد عرفنا من قبل شيئا عن الانكسار الذى يزيد من مدى استقبال الرادار والتليفزيون ، ويتم ذلك الانكسار فى الطبقات السفلى من الغلاف الجوى ، ولكن الأبحاث الفلكية اللاسلكية تتناول الانكسار فى الغلاف الجوى بأكمله . ويمكن أن تؤدي الأبحاث على الانكسار الى بيانات عن تركيب الطبقات العليا من الجو (الأيونوسفير) تعتبر هامة بالنسبة لتتبع الأجسام المرتفعة مثل الأقمار الصناعية بالرادار وحل المشاكل الجيوفيزيائية ..

كذلك يجب أن يضم تاريخ ما قبل الفلك اللاسلكى الأعمال التى تمت سنة ١٩٣١ . قد لوحظ حينئذ أن شدة التداخل على الموجات التى طولها ١٥ مترا كانت تتغير دوريا أثناء الأربع والعشرين ساعة . وكان الزمن بين أقصى شدة تداخل والتداخل الذى يليه ٢٣ ساعة و ٥٦ دقيقة بالضبط ، أى أن التداخل كان يحدث مرة كل يوم فلكى . وكان مصر ذلك أن مصدر هذا التداخل لم يكن الغلاف الجوى ، ولكنه يأتي من مصدر خارج الكرة الأرضية . وكذلك لا يمكن أن تكون الشمس هي هذا المصدر لأن اليوم الشمسى ٢٤ ساعة بالضبط . وقد أظهرت الأبحاث أن هذا التداخل الذى لوحظ كان صادرا من مركز المجرة ، من منطقة فى اتجاه كوكبة القوس والرامي .

ولم تذهب الأبحاث أبعد من ذلك الا فى سنة ١٩٤٠ عندما أعيدت نفس التجارب ولكن على موجة طولها ١٨٥ سنتيمترا . وفى هذه المرة سجلت الاشعاع اللاسلكى لا من مركز المجرة فحسب بل من درب التبانة بأكمله . وقد كان هذا الاشعاع أضعف بكثير حقا . ويجب اعتبار سنة ١٩٤٤ سنة ميلاد الفلك اللاسلكى . اذ بدأت فى تلك السنة ملاحظة الاشعاع اللاسلكى للشمس والمجرة بانتظام . وقد استخلصت فى البداية هوائيات وأجهزة استقبال الرادار ، ثم بنيت منشآت خاصة أطلق عليها التليسكوبات اللاسلكية .

أما الآن فهناك أعداد كبيرة من التليسكوبات اللاسلكية المختلفة . فمنذ حوالي عام ١٩٥٩ ، بدأ إنشاء تليسكوبات لاسلكية كبيرة جدا في جميع أنحاء العالم . وكان أبسطها على شكل طاس أرضي كبير ( شكل ٣٣ ) وتصنع بعض التليسكوبات اللاسلكية على شكل عواكس معدنية مثل عاكس الأشواء الكاشفة ولكنها ضخمة ، وهي ليست على درجة عالية من الصقل مثل المرايا الضوئية ، لأن ذلك ليس ضروريا لتجميع الموجات اللاسلكية على هوائي الاستقبال الموضوع في البؤرة ، ولكنها عادة أكبر في الحجم من عواكس الأشواء الكاشفة .



( شكل ٣٣ ) مجموعة هوائي ثابت القاس ، قطره ٣٠ مترا ومغطى بشبكة معدنية .

وتختلف أقطار عواكس التليسكوبات اللاسلكية الحالية من مترين إلى ٦٥ مترا ، وتدور هذه الأبنية الضخمة على دعائم لا تقل في قوتها عن عربات المدافع ( شكل ٣٤ ) ويجرى في الوقت الحاضر تصميم وبناء تليسكوبات لاسلكية أكبر حجما قطر أحدها ٧٦ مترا ( ارتفاع بناء من ١٥ طابقا ) ويدور على بنيان خاص يضم أبراجا ارتفاعها ٤٠ مترا ، مركبة على عربات تسير على قضبان حديدية دائرية .

ويستخدم أحد أنواع التليسكوبات اللاسلكية الأخرى مجموعات كبيرة من هوائيات دوائر مرتبطة بعضها ببعض . وقد مكنت كل من هذه المنشآت المعقدة وعدد من التليسكوبات اللاسلكية البسيطة من الحصول - في زمن قصير - على معلومات جديدة عامة أجبرت الفلكيين في عدد من الحالات على مراجعة معتقداتهم عن العمليات التي تحدث في الشمس وفي

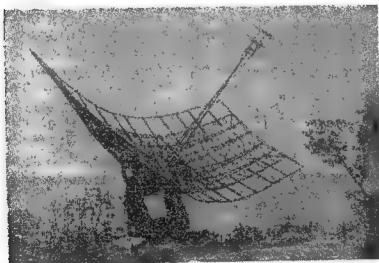


( شكل ٣٤ ) : عاكس تليسكوب لاسلكي قطره ٧٥ مترا لدراسة الاشعاع اللاسلكي على موجات طولها ١٠ سنتيمترات او اكثر . وهذا العاكس في قاعدة انترم التابعة لمعهد الفيزياء باكاديمية العلوم السوفيتية .

النجوم البعيدة جدا وفي السدم . وتستخدم بعض التليسكوبات اللاسلكية - مثلها في ذلك مثل منشآت الرادار - هوائيات تمثل جزءا من سطح قطع مكافئ ، ويسمىها الخبراء أسطح قشرة البرتقالة المكافئة . وبالطبع لا يمكن أن يحل مثل هذا الجزء محل العاكس الكامل ، كما تكون الطاقة التي يجمعها بالطبع صغيرة . الا انها أخف بكثير من الهوائيات الكاملة وأرخص . والشعاع المنبعث من سطح قشرة البرتقالة المكافئ يكون على شكل مروحة ، وأوسع جدا في اتجاه ، وضيق ( كالشعاع المنبعث من الهوائي كما لو كان كاملا ) في الاتجاه الآخر .

ويعمل اثنان من هذه التليسكوبات بعواكس أبعادها  $8 \times 18$  مترا منذ سنين في قاعدة انترم التابعة لمعهد الفيزياء باكاديمية العلوم السوفيتية ( شكل ٣٥ ) .

وقد بنى حديثا تليسكوب لاسلكى ذو تصميم مختلف تماما عما سبقه تحت اشراف س . ي . هايكين فى المرصد الفلكى الرئيسى التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية . وقد صنع على شكل قشرة البرتقالة أيضا ، ولكن بدرجة من الضخامة اقتضت أن يصنع من أجزاء متعددة بدلا من لوح واحد . وعندما ينظر المرء اليه ، لا يتمالك أن يذكر تلك القصة القديمة عن كيفية تمكن أرشميدس من حرق أسطول الأعداء دفاعا عن مدينته ، إذ أمر عددا كبيرا من المحاربين أن يسلطوا الضوء المنعكس من دروعهم على نقطة واحدة على إحدى سفن الأعداء فى وقت واحد ، إذ أن الألواح المنفصلة التى تكوّن التليسكوب اللاسلكى الضخم موضوعة الواحدة بجوار الأخرى بنفس هذه الطريقة ، ويمكنها أن تتبع حركة المصدر عندما تخضع للتحكم المناسب . وهناك تليسكوب لاسلكى تحت الإنشاء فى الوقت الحاضر يمتد على مسافة كيلومتر ، وهو ضخم بالنسبة إلى باقى أنواع التليسكوبات الأخرى .



( شكل ٣٥ ) : هوائي جهاز مرسمة الخيف ( سيكتروجراف ) اللاسلكى . وأبعاده ١٨ × ٨ مترا . ويتكون مقياس التداخل اللاسلكى من التين من هذا النوع من الهوائيات . ويستخدم فى دراسة ظواهر الانعراج اللاسلكى الشمسى .

وهناك أيضا تليسكوبات لاسلكية تتكون من عدة هوائيات متباعدة ، ويسمى مثل هذا التليسكوب اللاسلكى بمقياس التداخل اللاسلكى لأنه — مثل مقياس التداخل الضوئى — يستغل الفرق بين طوّر الموجات الساقطة على الهوائى . وقد سبق أن ذكرنا الهوائيات المتباعدة التى تستخدم لتغلب على الخبو عند استقبال الموجات القصيرة .



ويجب أن نلاحظ هنا الظروف التي يجب على مصممى التليسكوبات اللاسلكية أن يخلوها فى اعتبارهم . فنحن نعلم أنه يمكننا رؤية الاشارات اللاسلكية الشمسية على شاشات الرادار على هيئة تداخل . وأحيانا يتداخل الاشعاع الشمسى اللاسلكى مع التلفزيون ، فالاشعاع اللاسلكى للشمس والقمر والمصادر الكونية الأخرى لا يحتوى على اشارات مفهومة ، بل أنه - بكل بساطة - تيار من الموجات اللاسلكية تتغير شدته بلا انتظام . فطبيعة الاشارات الناتجة عنه من نفس طبيعة الفوضاء العشوائية . ومن الواضح أن هذه الاشارات تكون عادة ضعيفة جدا ، وغالبا ما تكون شدتها أقل من منسوب الفوضاء الداخلية لأجهزة الاستقبال . ولهذا السبب تتضمن أجهزة الاستقبال فى التليسكوبات اللاسلكية دوائر خاصة يمكنها فصل الاشارات الضعيفة القادمة من المصادر الكونية عن فوضائها الداخلية .

## فى صفوف العلم

هل يمكن أن يكون هناك استخدام عملى للفلك اللاسلكى ؟ نعم إذ يحدث أحيانا أن يعجز ملاح السفينة أو الطائرة عن تحديد مكانه بالاستعانة بالعلامات الأرضية أو الفناشات اللاسلكية أو بمميزات المنطقة المحيطة به . وفى هذه الحالة يجب أن يعتمد على رصد الشمس أو النجوم ، ولكن ما عساه يفعل فى الجو الملبد بالغيوم عندما تختفى الأجرام السماوية ؟ هنا يهب الفلك اللاسلكى لمساعدته ، إذ تمر الموجات اللاسلكية التى تشعها الشمس والسدم بسهولة خلال السحب ويمكن رصدها فى أى جو . وقد تم تصميم تليسكوبات لاسلكية صغيرة لتركب فى السفن ، وهى تساعد الملاحين على رصد الشمس والقمر لمعرفة مكانهم فى أى جو ، ويمكن تركيب أجهزة مشابهة فى الطائرات الكبيرة . وهذا يجعل السفر بالبحر والجو أكثر أمانا .

كما يمكن أن تعمل مرآيا التليسكوبات اللاسلكية الكبيرة كواحدة من الوسائل الرئيسية للتحكم والاتصالات بالنسبة للسفر فى الفضاء ، إذ تساعد على تحديد مسار سفينة الفضاء وإرسال أوامر التحكم إليها واستقبال الاشارات من الأجهزة الأوتوماتيكية وأجهزة إرسال التلفزيون المركبة فى المعامل الفضائية .

والآن يحق لنا أن نسأل : ما هو الدور الجديد الذى يقوم به الفلك اللاسلكى فى العلم الحديث ؟ بالإضافة الى الكثير من المعلومات عن الاجرام

السماوية وتركيب جو الأرض ، يمكننا الفلك اللاسلكى - بعكس الفلك العادى - من التنبؤ بالعواصف المغناطيسية وانقطاع الاتصال اللاسلكى قبل حدوثها بيوم ، حتى فى الجو الملبد بالغيوم .

وتعتمد كافة أنواع الحياة على الأرض على الطاقة التى تستقبلها الأرض من سطح الشمس ، وقد لاحظ الفلكيون اللاسلكيون أن شدة الاشعاع اللاسلكى للشمس لا تظل ثابتة . وقد لوحظ أن أقصى شدة لاشعاع الشمس اللاسلكى كانت فى سنة ١٩٤٨ فى نفس الوقت مع قمة النشاط الشمسى ، أى عندما شوهد عدد كبير بدرجة غير عادية من البقع الشمسية والسنة الذهب الساطعة والتوهجات وما يسمى بحقول الذهب على الشمس . وقد كان أقل نشاط شمسى واشعاع لاسلكى أيضا فى سنة ١٩٥٤ . وحدثت الذروة التالية سنة ١٩٥٩ ، لأن شدة الاشعاع اللاسلكى من الشمس مرتبطة بالنشاط الشمسى الذى يتغير - كما أثبت العلماء - فى دورة مدتها احدى عشرة سنة .

وأثناء فترات الخمول الشمسى ، يظل الاشعاع اللاسلكى ثابتا تقريبا لمدة طويلة ومنخفضا بالنسبة لمسوبه فى فترات قمة النشاط . أما فى فترات قمة النشاط ، فانه قد يتغير بسرعة بحيث يزداد الى مئات وآلاف أضعاف منسوبه المعتاد فى عدة دقائق . وقد وجد أن هذه الاندفاعات المفاجئة للاشعاع اللاسلكى مرتبطة بالمعاملات الضعيفة التى لاحظها الفلكيون منذ زمن طويل . وشدة هذه الاشعاعات المفاجئة كبيرة حتى انها تتداخل تداخلا ملحوظا مع التليفزيون فى بعض الأحيان .

والى عهد قريب لم يستطع العلماء أن يروا الا السطح النير للشمس، وهو المسمى بالفوتوسفير ، والطبقات العليا الباردة ( نسبيا ) من جو الشمس وهى المسماة بالكروموسفير والطفاوة وهى أبعدنا عن الشمس . وبالطبع وضع العلماء النظريون نظريات مختلفة عن تركيب جوف الشمس وهى المسماة بالكروموسفير والطفاوة وهى أبعدنا عن الشمس . كانت إمكانية الحصول على أية بيانات تجريبية عن تركيب الشمس ضئيلة جدا .

وقد تمكن الفلكيون اللاسلكيون من التقدم خطوة أخرى فى هذا الاتجاه ، بل انهم تمكنوا من الحصول على صورة لتوزيع السطوح اللاسلكى على سطح الشمس ، أى صورتها اللاسلكية . وللقيام بهذه المهمة كان من الضروري تصميم هوائى ذى زاوية رؤية ضيقة جدا ، وبوضع ثنائى القطب فى بؤرة التليسكوب ( الطاس الأرضى ) وإمالاته قليلا يمينا ويسارا ، جعل العلماء الشعاع الرأى يسمح سطح الشمس - حيث كانت - مما

مكن من استقبال الاشعاع اللاسلكي لا من سطح الشمس بأكمله وإنما من قطاعات صغيرة منه فقط . وقاد ذلك الى اكتشاف عدد من البقع التي تشع بنشاط وتلور مع الشمس . ويميل العلماء للاعتقاد ان هذه البقع مرتبطة بالتشكيلات الطفاوية التي شوهدت بالوسائل البصرية . وبهذا أمكن رسم نوع من الخريطة الاجمالية للشمس .

وبالاستعانة بتليسكوبين لهما قاعدة متغيرة ، تمكن الفلكيون اللاسلكيون من تحديد توزيع السطوع اللاسلكي للشمس . وقد وجد انه يزيد أولا بالابتعاد عن مركزها حتى يصل الى قيمة عظمى عند حافة قرص الشمس ثم يقل بسرعة . وكذلك تمكن الفلكيون اللاسلكيون أثناء دراسة الاشعاع اللاسلكي للشمس من « رؤية » ما كان مختلفا عن أعين الفلكيين البصريين : حلقة ساطعة تحيط بقرص الشمس .

وفى السنين القليلة الأخيرة تم اكتشاف آخر ، زاد كثيرا من معلوماتنا عن تركيب الطفاوة الشمسية ، وكان ذلك بالاستعانة بالفلك اللاسلكي . فقد وجدت طفاوة زائدة وشفافة « للضوء المرئي » وفى الوقت الذى كانت فيه المشاهدات الفلكية تظهر أن طفاوة الشمس تمتد الى مسافة نصف قطر من مركز الشمس ( قطر الشمس ٦٩٥٠٠٠ كيلو مترا ) أظهرت المشاهدات الفلكية اللاسلكية أن الطفاوة تمتد الى مسافة ٢٠ الى ٣٠ نصف قطر من مركز الشمس .

وستذكر الآن كيف تم هذا الاكتشاف .

فى ١٤ - ١٥ من يونيو كل عام ، تمر الشمس قريباً جداً من سديم كراب الذى يبعد ٥٠٠٠ سنة ضوئية عن الأرض ، وفى هذا الوقت تخسف الشمس هذا السديم .

ولهذا السديم عدد من الخواص التى جذبت انتباه العلماء منذ زمن بعيد ، وبملاحظة الاشعاع اللاسلكي لسديم السرطان أثناء مثل هذا الخسوف ، اكتشف الفلكيون اللاسلكيون أن شدة الاشعاع اللاسلكي بدأت تتغير عندما اقتربت الشمس من هذا السديم بمسافة ٢٠ - ٣٠ نصف قطر شمسي . وكانت الفكرة التى نشأت لدى العلماء أن جزءاً من الموجات اللاسلكية القادمة من سديم السرطان قد امتص بواسطة بعض التكوينات والاضطرابات غير المرئية . وقد أظهرت المشاهدات أن طبيعة هذه الاضطرابات تتغير مع دورة الأحد عشر عاماً ، أى مثل جميع الظواهر المرتبطة بحياة الشمس ، وكان الاستنتاج المنطقي هو أن هذه التكوينات التى تتداخلت مع الاشعاع اللاسلكي لسديم السرطان كانت أيضاً ذات أصل شمسي .

ماذا يمكن أن تكون هذه العقبات التي أثرت على الإشعاع اللاسلكي، ومع ذلك ظلت « شفافة » للضوء المرئي ؟ استنتج العلماء أن هذه الاضطرابات تتكون من الكترونات تركت البلازما (الغاز المتأين) وتحركت بطول خطوط قوى المجال المغناطيسي للشمس . وخطوط القوى هذه تحافظ على تركيز الالكترونات مثلما تفعل الخراطيم بالمياه بحيث تمنع الالكترونات من التفرق والاضطرابات من الانتشار .

وبهذا زودتنا الملاحظات الفلكية اللاسلكية بمعلومات عما سمي بالطفاوة الزائدة للشمس وتركيبها .

وتدرس المراصد اللاسلكية الحديثة الإشعاع اللاسلكي للشمس بعدد من التليسكوبات اللاسلكية تعمل على موجات مختلفة الأطوال في وقت واحد ، وتسجل شدة الإشعاع التي يلتقطها كل جهاز استقبال على شريط مغناطيسي ، لأن العلماء يحبون بالطبع أن يقارنوا بين التسجيلات التي تتم في وقت واحد بموجات مختلفة . وقد أدى ذلك إلى اكتشاف ظاهرة غريبة . فقد وجد أنه إذا سجل أحد التليسكوبات اللاسلكية اندفاعا مفاجئا في الإشعاع اللاسلكي ، تظهر هذه الموجة في التليسكوبات الأخرى ، ولكن يسجلها التليسكوب الذي يعمل على أقصر موجة أولا . وكلما طالت موجة التليكسوب تأخر في تسجيل وصول هذا الاندفاع المتأخر .

ويبدو هذا للوهلة الأولى غريبا ، لأن الموجات اللاسلكية من جميع الأطوال تمتد في الفراغ بنفس السرعة ( سرعة الضوء ) وتستغرق حوالى ثمانى دقائق لتصل من الشمس إلى الأرض ، فلماذا إذن تلاحظ الاندفاعات المتأخرة ذات الموجات الأقصر قبل تلك ذات الموجات الأطول ؟

وقد وجد التفسير سريعا ، إذ توصل العلماء إلى نتيجة للمقارنة الدقيقة بين تسجيلات التليسكوبات اللاسلكية والأرصاد العادية أو الأنفاد المسجلة لسطح الشمس بالتليسكوبات العادية .

يتكون جو الشمس والطبقات العليا من سطحها من خليط من الذرات المتأينة والالكترونات الحرة . ويسمى هذا الخليط بلازما ( غاز متأين ) . وفي أثناء الاضطرابات العنيفة التي يصاحبها ظهور الانفورات والاندلاعات على سطح الشمس ، ترتفع كتل من المادة المتوهجة من باطن الشمس إلى سطحها ، وعندما تتحرك جزيئات المادة المشحونة كهربائيا حركة عشوائية في المجال المغناطيسي للشمس ، تشع موجات لاسلكية . وبهذا تتولد موجات لاسلكية ذات أطوال مختلفة ، ولكن كلما طالت

الموجة قل سمك طبقة البلازما الشمسية التي تستطيع أن تخترقها بدون أن تعاني امتصاصا كبيرا . لهذا يكون أول ما يصل الى سطح الأرض اقصر الموجات التي تستطيع أن تشق طريقها من أعماق طبقات جو الشمس وهي الكروموسفير . وكلما ارتفع الاضطراب الى طبقات أعلى في بلازما الشمس ، زاد طول الموجات التي يمكنها أن تصلنا ، وبقياس زمن وصول الموجات المختلفة ، يحدد العلماء سرعة امتداد الاضطراب في جو الشمس . وبهذه الطريقة يمكن أيضا حساب العمق الذي بدأت عنده هذه العمليات ، وبهذا تمكن العلماء من الحصول على بيانات عن جو الشمس كان الحصول عليها مستحيلا بطرق البحث الأخرى .

وتتجاوز أهمية هذه المعلومات مجرد العلم بها ، فقد وجد انه بعد حوالي ٢٤ ساعة من حدوث الانفجاعات المفاجئة الشديدة في الاشعاع الشمسي اللاسلكي ، تحدث اضطرابات عنيفة في الاتصالات اللاسلكية على الأرض ، وعلى الموجات القصيرة على وجه الخصوص .

وقد تأكد أن هذه الاضطرابات ناتجة عن الدقائق المشحونة التي تولد اشعاعا شمسيا لاسلكيا قويا أثناء خروجها من باطن الشمس ، ثم تستمر في الفضاء الى أن تصل الى الأرض . وعندما تخترق هذه الدقائق الطبقات العليا من جو الأرض ، تسبب تأينا شديدا فيها ، أشد بكثير من المعتاد ، ويصاحب التغيرات السريعة في التأين ظاهرة الشفق القطبي المساطع والعواصف المغناطيسية التي تحدث اضطرابا في الاتصالات اللاسلكية .

وجدير بالذكر أنه يمكن بالحساب البسيط معرفة سرعة هذه الدقائق في الفضاء الخارجي ، إذ تصل الى الأرض بعد حوالي ٢٤ ساعة من الموجات اللاسلكية ، وهذا يعني أن سرعتها أقل ١٨٠ - ٢٠٠ مرة من سرعة الضوء أي حوالي ١٢٠٠ كيلو مترا في الثانية .

## النجوم اللاسلكية

ليست الشمس ودرب التبانة المصادر الوحيدة للاشعاع اللاسلكي القوي ، فإن كثيرا من السدم التي تبعد عن الأرض مسافات ضخمة ( من السدم القريبة إلينا سديم أندروميديا ، وهو يبعد عنا مسافة ١٥٠٠٠٠ سنة ضوئية ) مصادر اشعاع لاسلكي أيضا ، وتقرّب شدة اشعاعها من شدة اشعاع الشمس . ويتكون مثل هذا السديم من عدة

ملايين من النجوم . ويشبه الاشعاع القادم من هذه النجوم فى طبيعته اشعاع الشمس ، ويضاف اليه الاشعاع الناتج عن حركة الغاز الكونى .

وللاشعاع اللاسلكى المنبعث من بعض السدم الغازية طبيعة غريبة ، اذ لا يتكون السديم من نجوم بل من غازات مخلخلة . وبالمقارنة بسجلات فلكى المصور الوسطى والبيانات المسجلة فى المخطوطات الصينية القديمة ، أمكن التوصل الى أن بعض هذه السدم موجود فى المكان الذى كان فيه نجم لامع توهج ثم لمع لزمان قصير نسبيا ثم انطفأ ، وتتكون هذه الأجرام المنيرة التى تسمى النوبا وزميلاتها الأكثر سطوعا والتى تسمى السوبرنوبا نتيجة لانفجارات ضخمة حدثت عندما توهج فجأة نجم ضعيف لا تراه العين المجردة ، ثم تنثر فى الفضاء على شكل سحابة مخلخلة من غازات تأخذ فى البرودة ، وهذا هو ما يسمى بالسديم . ويتولد الاشعاع اللاسلكى لمثل هذا السديم نتيجة للحركة السريعة العشوائية للإلكترونات التى انطلقت أثناء الانفجار .

وأحد هذه المصادر سديم على شكل السرطان البحرى ويرى بالتليسكوبات القوية كنجم معتم صغير . وقد لاحظ الفلكيون أثناء مشاهدته هذا السديم أن الضوء المنبعث منه لم يكن بنفس الشدة فى جميع الاتجاهات ، اذ تصل شدة الضوء الى أقصاها فى المستوى الموازى للمحور الرئيسى المتجه الى أقصى امتداد للسديم ، وتقل شدة الضوء بالاتجاه عن هذا الاتجاه حتى ولو بدرجات قليلة . ولم يسبق للعلماء أن شاهدوا مثل هذا الاستقطاب الخطى فى أى مصدر كونى آخر .

وقد جرب الفلكيون اللاسلكيون تليسكوباتهم مع سديم السرطان أيضا ، فاكتشفوا ظاهرة غريبة نوعا ما ، اذ اتضح أن الاشعاع اللاسلكى لسديم السرطان كان أشد كثيرا من ضوءه .

وقد وضع العالمان السوفيتيان شكلوفسكى وجينزبورج نظرية تفسر هذه الظاهرة . وتقول هذه النظرية ان السبب فى هذا الشذوذ قد يرجع الى الكثرونات « غير مرئية » للفلكيين البصريين تتحرك بطاقة كبيرة جدا فى مجالات السديم المغناطيسية الضعيفة ، وتولد اشعاعا لاسلكيا قويا نتيجة لتباطؤها بفعل هذه المجالات ، ولكن تتطلب هذه النظرية أن يكون الاشعاع اللاسلكى مستقطبا استقطابا خطيا كالضوء المنبعث من هذا السديم .

ولزمن طويل لم يتمكن الفلكيون اللاسلكيون من اكتشاف هذه الظاهرة . فقد كان الاستقطاب المتوقع صغيرا جدا ، ولا عجب اذا كانت جودة المعدات المستخدمة قد لعبت دورا عظيما .

وحديثاً جداً اكتشفت الظاهرة المتوقعة على موجة طولها ١٠  
مستقيمات . وثبت أن الإشعاع اللاسلكي لسديم السرطان مستقطب  
أيضاً وفي نفس المستوى المستقطب فيه الضوء ، ولكن بدرجة أقل .

وبهذا عززت المشاهدات الفلكية اللاسلكية نظرية منشأ الموجات  
اللاسلكية في السديم الغازي ، وهذا يؤكد أيضاً افتراضاً نظرياً هاماً  
آخر بخصوص أصل إشعة الدقائق الكونية .

فإذا احتوى سديم غازي على الكتلونات ذات طاقة عظيمة - الأمر  
المميز للدقائق الكونية - فلا بد وأن تكون هناك أيضاً الدقائق المناطرة  
ذات الشحنة المضادة ، وهي نوى المادة ، لأن الإلكترون والتواه جزءان  
من كل - هو ذرة المادة - مشحونان بشحنتين متضادتين . لذلك فمن  
المحتمل جداً أن تكون الدقائق الكونية المشحونة التي تشاهد عند الأرض  
هي نفس الدقائق التي تنشأ في نفس الوقت مع الإلكترونات أثناء انفجار  
نجم ليولد سديم غازي مثل سديم السرطان مثلاً .

وهناك ظاهرة أعظم من هذه ومربطة بنوع آخر من السدم اللاسلكية  
مثل سديم « الدجاجة - أ » . فقد ظهر أن هذا السديم الذي يبعد عنا  
بحوالي ٢٠٠ مليون سنة ضوئية ما هو إلا مجرتين ( مثل مجرتنا درب  
التبانة ) في حالة تصادم .

ويجب ملاحظة أنه عند تصادم مجرتين ، يكون التصادم المباشر  
لالنجوم نادراً جداً ، لأن المسافة بينها أكبر بكثير من أبعادهما . ولكن  
المسافات بين المجرات لا تزيد على ١٠ أو ٢٠ مرة قدر المجرات نفسها ،  
مما يجعل وقوع التصادم بينها أكثر احتمالاً . وهذا الاحتمال هو نفس  
احتمال التصادم بين كرتي بلياردو تتحركان حركة عشوائية على مائدة  
البلياردو ، وتتصادم مجرتان تقريباً من كل مليون مجرة شوهدت .

ولكن ما الذي « يتصادم » أثناء هذه « الحوادث » المجرية إذا كان  
احتمال تصادم النجوم ضئيلاً بهذا القدر ؟ وجد أن سحب الغاز الكوني  
في المجرتين هي التي تتصادم ، وينتج عن هذا التصادم موجة تصادم  
عظيمة تتحرك بطول كلا السحابيتين بسرعة تزيد على ألف كيلو متراً في  
الثانية ( وعلى سبيل المقارنة ، تدور الأرض في مدارها حول الشمس  
بسرعة ٣٠ كيلو متراً في الثانية فقط ) . ولكن حتى بهذه السرعة  
العظيمة تستغرق الموجة أكثر من ١٠ مليون سنة لتنتقل من أول المجرة  
إلى آخرها . وفي أثناء هذه المدة بكاملها ، يستمر التصادم ويصاحبه  
إشعاع قوى من الموجات اللاسلكية .

وقد كتب الكثير عن النجوم اللاسلكية في السنين الأولى للفلك اللاسلكي ، ففي ذلك الوقت كان عدد من مصادر الاشعاع القوي على الموجات القريبة قد اكتشف بالإضافة الى الاشعاع اللاسلكي للشمس وحرب البتانة ، وكان هذا الاشعاع يبدو كأنه صادر من مصادر على هيئة بقع صغيرة ، ولهذا كان من الطبيعي افتراض أن مصادر هذا الاشعاع نجوم ساطعة ، وان طبيعة الاشعاع شبيهة بالاشعاع اللاسلكي للشمس ، ولكن لم يتمكن أحد من العثور على نجوم ساطعة في هذه النقط من السماء التي يأتي منها الاشعاع . وقد اقترح العلماء أن هذا الاشعاع يأتي من مصادر ذات طبيعة غريبة ، أي من نجوم لاسلكية تشع موجات لاسلكية قوية ، ولكن لا تشع ضوءا مرئيا . وأخيرا وجد حل لهذا اللغز ، واكتشف أن النجوم اللاسلكية ما هي الا سدم بعيدة جدا تشع موجات لاسلكية ولا يمكن رؤيتها بوضوح ، وهي التي ذكرناها فيما سبق .

ثم اكتشف العلماء اشعاعا لاسلكيا قادما من القمر ، وبينما نجد أن ضوء القمر ضوء منعكس من الشمس ، فإن الاشعاع اللاسلكي للقمر هو اشعاع حراري له مميزاته الخاصة . ومن المعروف أن درجة سطوع القمر تختلف كثيرا بين طوري الهلال والبدر ، وقد أظهرت قياسات الأشعة تحت الحمراء أن درجة حرارة سطح القمر تتغير من - ١٥٠ درجة مئوية عند منتصف الليل القمري الى + ١٣٠ درجة مئوية أثناء النهار القمري ، الا أن الاشعاع اللاسلكي للقمر ( على موجة طولها حوالي ثلاث سنتيمترات ) يظل ثابتا على مدار النهار والليل القمريين ، وتفسير هذا أن الموجات اللاسلكية للقمر لا تنبعث من سطحه ، ولكن من عمق معين تحت سطحه . ومن الواضح أن سطح القمر يتكون من غبار ناعم ذي موصلية حرارية ضعيفة للغاية يعمل كمعطف دافئ يحتفظ بدرجة حرارة ثابتة وان كانت منخفضة .

وهناك عدد من النظريات عن أصل هذه الطبقة من الغبار ، وتقول احدها ان هذه الطبقة تكونت على سطح القمر نتيجة لسقوط ملايين من الشهب الكبيرة والصغيرة والدقيقة على سطحه . وقد كان من الممكن أن تواجه الأرض نفس المصير ، لو لم تكن مغطاة بغلاف واق متين هو الغلاف الجوي . فلا تستطيع الشهب أن تصل الى سطح الأرض ، لأنها تحترق في غلافها الجوي ، ولكنها تصل الى سطح القمر بلا عتبة ، لأن الغلاف الجوي للقمر - ان وجد - صغير جدا . وتقول نظرية أخرى ان طبقة الغبار تكونت نتيجة لتخلل الصخور الذي حدث بسبب التغير الشديد في درجة الحرارة .



وقد تم الحصول على جميع البيانات المذكورة آنفا بالطرق الفلكية  
الاسلكية السلبية ، فان التليسكوب اللاسلكي - مثله في ذلك مثل  
التليسكوب البصري المعتاد - يستقبل الاشعاع الصادر من الأجسام  
الفلكية .

## دور الرادار في الفلك

وهناك فرع آخر من فروع الفلك اللاسلكي - وهو الفرع الفعال أو  
الرادار . وهو حتى الآن لا يمكنه معالجة الا الاجسام القريبة : الشهب  
والقمر (★) .

وتتم الأرصاد الرادارية للقمر في الوقت الحاضر على موجات يتراوح  
طولها من ١٠ سنتيمترات الى عدة أمتار . وقد مهدت هذه الأبحاث الطريق  
أمام الفحص التفصيلي لسطح القمر في المستقبل . أما الآن فانها تمدنا  
بمعلومات اضافية هامة عن تركيب جو الأرض . وتعتبر هندسة الرادار  
في الوقت الحاضر في موقف يسمح لها بالقيام بتطوير الأجهزة ، حتى  
يمكن مراقبة الشمس والزهرة .

ومن أهم الدراسات مشاهدة النجوم الساقطة أو الشهب باللاسلكي -

وتزيد هذه الشهب بصفة خاصة في ليالي أغسطس ، فتظهر  
حينئذ أعداد كبيرة تصل الى المئات والآلاف من النجوم الدقيقة وتختفي  
أمام العين ، وفي مثل هذه الأوقات يقال ان هناك مطرا من النجوم .

يعلم كل تلميذ اليوم أن النجوم الساقطة ما هي الا دقائق صغيرة من  
المادة تسمى الشهب . وهي تدخل جو الأرض بسرعة تصل الى عشرات  
الكيلو مترات في الثانية ، وترتفع درجة حرارتها بالاحتكاك مع الهواء الى  
أن تصبح بياضا من شدة الحرارة وتحترق على ارتفاع عدة عشرات من  
الكيلومترات من سطح الأرض . وتخترق الشهب الكبيرة - وبخاصة  
إذا كانت سرعتها منخفضة نسبيا - جو الأرض الى أن تصل الى الطبقات  
السفلى منه . ويصل أكبرها بالفعل الى سطح الأرض .

ويظل عدد الشهب التي تدخل جو الأرض كل ثانية - في المتوسط -  
ثابتا ، وهذا يعني أن كثافة الدقائق الصغيرة من المادة لا تتغير كثيرا

(★) تم اكتشاف إرسال الموجات القصيرة إلى القمر واستقبالها - للترجمة .

في مختلف مناطق الفراغ الذي تخترقه الأرض . وفي أثناء مطر النجوم تدخل الأرض في مناطق تحتوى على عدد من دقائق الشهب أكبر من المتوسط بكثير .

وقد تأكد في عدد من الحالات أن مطر النجوم ما هو الا بقايا مذنب تحلل الى عدد كبير من الأجزاء المنفصلة . ومن هذا نرى أن دراسة تيارات الشهب لها أهمية عظيمة في دراسة تكوين المجموعة الشمسية .

وتعتمد الأبحاث الخاصة بالشهب والتي يستخدم فيها الرادار ، على انعكاس الموجات اللاسلكية عن الآثار التي تخلقها الشهب ، اذ لا تحرق الحرارة الناتجة عن الاحتكاك بالهواء الشهاب فحسب ، بل تؤين جزيئات الهواء أيضا بطول مساره . ويستمر التأين بعض الوقت بعد أن تبرد دقائق الغبار المتبقية من احتراق الشهاب وتكف عن اشعاع الضوء . ويمكن معرفة السرعة التي تتحرك بها هذه الآثار والزمن الذي تستغرقه حتى تنتشت من دراسة الرياح في الطبقات العليا من الجو وذلك يعطينا بيانات أخرى قيمة .

ومن النواحي الهامة بصفة خاصة ، ان الطرق التي تستخدم الرادار تسمح بمراقبة الشهب خلال السحب وأثناء النهار ، الأمر المستحيل تماما بطرق المراقبة المعتادة . وقد مكن هذا من جمع كمية كبيرة من البيانات الهامة - في وقت قصير نسبيا - عن تيارات الشهب ، الأمر الذي له أهمية خاصة في تصميم صواريخ الفضاء .

فلا بد أن يعرف مصممو الصواريخ ، ما هو احتمال التصادم مع الأجسام الكونية ، وما هو معدل ظهور الشهب الكبيرة ، وأين تقع ممرات تيارات الشهب الشديدة ، وكيف يمكن أن ينتقى أسلم مسار للصاروخ ؛ اذ أن الشهب تتحرك بسرعة تزيد عشرات المرات على سرعة الرصاصة ويمكنها أن تخترق جدران الصاروخ . ولا يمكن جعل الجدران سميكة جدا ، لأن ذلك يزيد من وزن الصاروخ كثيرا . وفي نفس الوقت يجب أن تكون هذه الجدران على درجة دنيا من الثانة لا يصح أن تقل عنها . ويلزم في هذه الحالة الحصول على البيانات الاناسية المطلوبة لتصميم جدران الصواريخ بمراقبة الشهب بالرادار .

وقد أدت دراسة آثار الشهب باستخدام الرادار الى ظهور تكنيك جديد للاتصالات باستخدام الموجات الفائقة القصير لمسافات تصل الى ١٥٠٠ كيلو مترا . وتعتمد هذه الطريقة على انعكاس الموجات اللاسلكية من

الآثار المتأينة للشهب في طبقات الجو العليا . وقد أظهرت المشاهدات أن  
مئات من الشهب تظهر كل ساعة بين أية نقطتين على الأرض المسافة  
بينهما ١٥٠٠ كيلو مترا . ويمكن استخدام آثارها في هذه الطريقة  
الجديدة للاتصال اللاسلكي . وبالرغم من أن الشهب لا تظهر بانتظام ،  
فإن عول الاتصال يكون عاليا بحيث يتم استقبال ما لا يقل عن ٩٥ في  
المائة من الارسلات بدون تشويه .

ويعمل هذا النظام بالطريقة التالية ، تقام في كل من طرفي الوصلة  
اللاسلكية محطات ارسال واستقبال للموجة الفاتحة القصر تملآن بتردد من  
٣٠ الى ٦٠ ميغاسيكل وبحيث يوجه هوائيهما على نفس المنطقة من  
الأيونوسفير . وتعمل المحطتان باستمرار ، ولكن لا يتم الاتصال بينهما  
الا عند ظهور أثر لشهاب في تلك المنطقة من الأيونوسفير . ففي هذه  
اللحظة تتم قناة الاتصال ويستقبل كل من جهازى الاستقبال إشارة معينة  
من المحطة الأخرى ، فتبدأ معدات التلغراف عالى السرعة في العمل  
أوتوماتيكيا وترسل الرسائل التى تكون مسجلة على شريط ومجهزة  
للالرسال . وتسجل الرسائل المستقبلية على شريط أيضا .

وتستغرق كل فترة ارسال من عدة أجزاء من الألف من الثانية الى  
عدة ثوان حسب شدة الأثر وظروف تشتته ، ويتم الارسلات بسرعة  
تزيد على ٣٠ كلمة في الثانية ، ويسمح قصر كل فترة والظهور العشوائى  
لشهب بمتوسط للارسل يبلغ ٤٠ كلمة في الدقيقة ، وهو رقم مقبول  
تماما .

ومن مميزات هذه الطريقة الجديدة انخفاض القدرة اللازمة لأجهزة  
الارسلات وقلة التأثير بالتداخل والدرجة العالية من السرية التى يتم بها  
الاتصال .

وفى الختام ، يجب أن نذكر انه بالإضافة الى خلق علم جديد وهو  
الفلك اللاسلكي ، تشق الهندسة اللاسلكية طريقها أيضا الى الفلك  
البصرى المعتاد ، إذ أن هناك - ضمن أشياء أخرى - طريقة أوتوماتيكية  
لتسجيل اللحظة التى يمر فيها نجم ما فى مستوى الزوال ، ومثل هذا  
القياس هام جدا فى الخدمات المتعلقة بتحديد الوقت . ولهذا الغرض ،  
توضع خلية ضوئية فى بؤرة تليسكوب .

ومن الأمور المعقدة جدا ، الطريقة المتبعة فى تصوير نجم أو سديم  
ضعيف بالتليسكوب البصرى . إذ يكون فى غاية الأهمية أن يظل

التليسكوب متتبعا للنجم تتبعنا دقيقا أثناء فترات التصوير البطيئة للحصول على صور فوتوغرافية عالية الجودة .

وقد استخدمت المعدات التليفزيونية أخيرا في الأرصاد الفلكية . وقد نشأ ذلك باعتبار أنه عند تصوير الاجرام السماوية الضعيفة - وبخاصة الطيف المنبعث منها - فإن زمن التعريض يعتمد على عاملين : حساسية المادة الفوتوغرافية ، وحجم التليسكوب . ولا يمكن زيادة الواحد غيما أو الآخر كثيرا في الوقت الحاضر . ويكفي أن نقول هنا أن أكبر تليسكوب عاكس موجود الآن وهو الموجود في مونت بالومار تكلف ستة ملايين دولار ، واستغرق بناؤه عشرين سنة .

وكما نعرف الآن ، مكنت ظاهرة اختزان الشحنة ومبدأ التضاعف الإلكتروني الثانوي من صنع أنابيب كاميرا ذات حساسية عالية . وبوضع إحدى هذه الأنابيب في بؤرة تليسكوب أو مقياس طيف فلكي ، بدلا من اللوح الفوتوغرافي ، أمكنت مشاهدة موجات الضوء الضعيفة القادمة من الأجرام السماوية بوضوح أكبر .

وقد أمكن الحصول على صور فوتوغرافية للشمس من شاشة أنبوب صورة متصل بأنبوب كاميرا موضوع في بؤرة تليسكوب وذلك باستخدام الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء على صور عادية أيضا للقمر والمشتري وزحل . وقد أظهرت صور القمر فجوات صغيرة بوضوح ، كما أظهرت صور المشتري بقعا مميزة . وبالمقارنة بين هذه الصور الفوتوغرافية والصور المعتادة ظهرت ميزة الطريقة الجديدة ، فقد أظهرت صور الشمس التي التقطت بالطريقة الجديدة تفاصيل لم تر من قبل ، لا بالتصوير الطيفي ولا بالعين .

وجدير بالذكر أن الخطوات الأولى نحو استخدام التليفزيون في الفلك تمت على أيدي خبراء لاسلكيين كانوا فلكيين هواة يعملون مع فلكيين محترفين .

## التحليل الطيفي اللاسلكي

نشأ علم دراسة الظواهر الطيفية اللاسلكية من تزاوج الفيزياء اللاسلكية مع الوسائل الهندسية اللاسلكية لمستخدم في دراسة تركيب الجوامد والسوائل وخواص الجزيئات والذرات والنوى والأبحاث الخاصة وآليات التفاعلات الكيميائية . واسم هذا العلم الجديد يدل على أنه يدرس المواد عن طريق طيفها ، أو بمباراة أدق طيفها اللاسلكي .

ويلعب الطيف وتحليله دورا هاما في الهندسة اللاسلكية ، وقد ابتكرت أجهزة خاصة تسمى محلات الطيف لتحليل طيف الاشارات التليفزيونية وإشارات التداخل والأصوات الصادرة من مختلف الآلات الموسيقية .

ويدرس علم التحليل الطيفي اللاسلكي الذي سنتناوله بالبحث في هذا الفصل إشارات مختلفة تماما عما ذكر ، ومصدر هذه الاشارات ليس كاميرات تليفزيونية أو آلات موسيقية ، ولكنه الذرات والجزيئات .

وقد جذب تحليل الضوء - الذي تبعته مختلف المواد أو تمتصه - العلماء منذ زمن طويل . وابتكرت عدة أنواع مختلفة من مناهير التحليل الطيفي لهذا الغرض ، وبوساطة مناهير التحليل الطيفي البصرية ، يمكن تحديد تركيب الصلب أو البترول ، ودرجة حرارة النجوم البعيدة وتركيبها ، ودراسة تكوين الذرات والجزيئات .

ويدرس علم التحليل الطيفي اللاسلكي - وهو علم جديد لم ينشأ الا منذ عقد واحد - أيضا الجزيئات والذرات والنوى الذرية ، ولكن ذلك لا يتم بموجات الضوء ، وإنما بالموجات اللاسلكية ، وعلى الخصوص تلك الواقعة في النطاق السنتيمترى . ومن هنا تختلف أجهزة التحليل الطيفي اللاسلكي عن مناهير التحليل الطيفي المستخدمة في تحليل الضوء المرئي

اختلافنا بيننا ، كما وأنها لا تشبه أجهزة تحليل الطيف المستخدمة في دراسة الإشارات اللاسلكية .

ولقد جاءت الحقائق التي أدت الى نشأة علم التحليل الطيفي اللاسلكي نتيجة للمحاولات التي قام بها البعض لاستخدام موجات أقصر من ثلاثة سنتيمترات للرادار . وقد واجهت هذه المحاولات صعوبات كبيرة . اذ وجد أن الموجات اللاسلكية التي طولها حوالي سنتيمتر واحد أو نصف السنتيمتر تمتص امتصاصا كبيرا في الجو . وقد أثر ذلك على مدى أجهزة الرادار التي تعمل على هذه الموجات .

وقد أظهرت الأبحاث الأساسية التي قام بها ، عام ١٩٤٢ ف.ل. جينز بورج العضو المراسل في أكاديمية العلوم السوفيتية ، ثم أكملها علماء آخرون أن هذا الامتصاص كان أساسا نتيجة لوجود بخار الماء في الجو . كما وجد أن بخار الماء يمتص الموجات اللاسلكية في النطاق من ١.٢ الى ١.٦ سنتيمترا امتصاصا كبيرا . وقد أكدت التجارب هذه الحسابات . وكنتيجة لهذا ، لم ينتشر استخدام الرادار العامل على الموجات من ١ الى ٢ سنتيمترا . ولكن الاهتمام بأمرها كان قد بدأ .

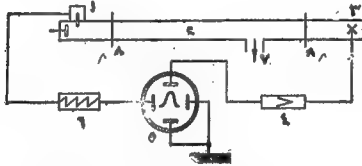
ملك الرادار ناصية استخدام نطاق الموجات الأقصر من ذلك ، بيننا بدأ العلماء في دراسة الظاهرة المكتشفة حديثا . وتذكر العلماء أن سن.ي. كليتون ون.ه. وليامز كانا قد قاما بدراسة امتصاص الموجات اللاسلكية في الأمونيا عام ١٩٣٤ . وقد استخدموا جهازا كان هجينا بين منظار التحليل الطيفي البصري ودوائر اللاسلكي العادية . وكان مصدر الموجات اللاسلكية صمام الماجنترون .

ويعتبر عام ١٩٤٦ عام المولد الفعلي للتحليل الطيفي ، لأنه في ذلك العام ظهرت أكثر من عشر مقالات عن الدراسات الخاصة بامتصاص موجات اللاسلكي السنتيمترية في بخار الماء والأكسجين والأمونيا وغازات أخرى تحت ضغط منخفض ، وعن تصميم أول أجهزة تحليل طيفي لاسلكي الغرض منها القيام بهذه الدراسات وعن الأبحاث الأساسية المرتبطة بتلك الدراسات .

## أجهزة التحليل الطيفي اللاسلكي

جهاز التحليل الطيفي الحديث جهاز معقد نسبيا . وهو يختلف تماما عن مناهير التحليل الطيفي البصري ، فهو لا يحتوي على مناهير زجاجية أو شقوق بصرية ، ولكنه مشال للجهاز اللاسلكي البحث

( شكل ٣٦ ) • وتستخدم أكثر أجهزة التحليل الطيفي اللاسلكي. شبيوعا عشرات من الصمامات الإلكترونية المختلفة ، ويكون مصدر الموجات اللاسلكية فيه صمام من نوع خاص مثل الكلايسترون العاكسي الذي تكلمنا عنه من قبل في هذا الكتاب • وأهم سماته أنه يمكن مولفة الذبذبات المتولدة منه بنون مجهود كبير ، وبدون استهلاك كبير للطاقة ، وذلك بتغيير الفلطة المسطحة على أحد الالكترونات ، وهو العاكس • وتفغى الموجات اللاسلكية التي يشعها الكلايسترون عن طريق دليل موجي ( أنبوب معدني مستطيل المقطع ) الى كاشف بللوري ، ثم تكبير الإشارة الخارجة منه وتسلط على أنبوب راسم للذبذبات الكهربائي أو تسجيل على شريط •



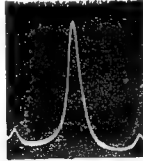
( شكل ٣٦ ) : الرسم التخطيطي لجهاز تحليل طيفي لاسلكي بسيط

- ١ - كلايسترون • ٢ - خلية امتصاص • ٣ - كاشف • ٤ - مكبر  
٥ - راسم ذبذبات باشعة المهبط • ٦ - مولد ذبذبات أسنان المنشار  
٧ - آل مضخة ومانونتر ووسيلة ادخال الغاز المراد دراسته • ٨ - لملحة من الميكا •

وتحتوى أبسط أجهزة التحليل الطيفي اللاسلكية المصممة لدراسة امتصاص الموجات اللاسلكية في الغازات على جزء منفصل من الدليل الموجي بين الكلايسترون والكاشف يفصل عن باقي الجهاز بنافذتين محكمتين من الميكا ، بحيث لا تنفذ منهما الغازات ومضخات خاصة لتفريغ الهواء من هذا القسم • وتدخل الغازات المراد اجراء الاختبارات عليها الى هذه الغرفة المفرغة • ويسمى هذا القسم من الدليل الموجي المزود بناوذة الميكا ووسائل ادخال الغاز المفرغ بـ « خلية الامتصاص » •

ويعمل جهاز التحليل الطيفي اللاسلكي البسيط كما يلي : يغير مولد ذبذبات أسنان المنشار تردد الكلايسترون دوريا • ويفغى نفس المولد فلطية المسح الأفقي للشعاع الساقط على شاشة أنبوب راسم

الذبذبات الكهربائية مما يحرك الشمع دوريا بمعدل ثابت من إحدى حافتي الشاشة إلى الحافة الأخرى . فإذا لم يكن بخليّة الامتصاص أى غاز . وكان جهاز التحليل الطيفي اللاسلكي موالفا موالفة صحيحة ، تظن الطاقة التي يغذيها الكلايسترون للكاشف ثابتة ويتحرك الشعاع في خط مستقيم على شاشة الأنبوب . فإذا دخل غاز خلية الامتصاص وكان خطه الطيفي ضمن نطاق الترددات التي تسمحها إشارة الكلايسترون ، فإن الطاقة المسلطة على الكاشف تتغير مع التغير في تردد الكلايسترون . وذلك لأن الغاز يمتص الموجات اللاسلكية التي ينطبق ترددها مع تردد كل خط من خطوطه الطيفية . ولهذا تقل الطاقة التي تصل إلى الكاشف بهذه الترددات عن تلك التي تصل إليه بموجات ذات تردد مختلف ، وتسجل التغيرات في الطاقة مع التغير في تردد الكلايسترون على شاشة جهاز التحليل الطيفي اللاسلكي ، وبدلا من خط مستقيم ، يرى المشاهد خطا منحنيًا يمثل صورة الخط الطيفي ، ويشبه الخط الطيفي على شاشة راسم الذبذبات منحنى رنين الدائرة الموالفة إلى حد كبير ( شكل ٣٧ ) .



( شكل ٣٧ ) الخط الطيفي لجزء الأمونيا

### الخطوط الطيفية

الخطوط الطيفية التي نحصل عليها بواسطة جهاز التحليل الطيفي اللاسلكي ، هي نتيجة للتفاعل بين الموجات اللاسلكية وجزئيات الغاز .

وقد عرفت التفاعل بين الذرات والجزئيات والمجال المغناطيسي الكهربائي منذ زمن طويل ، فملح الطعام يصبغ اللهب الأزرق المنبعث من مصباح الغاز بلون أصفر ناصع ، بينما إذا سخنت كاوية اللحم المصنوعة من النحاس بشدة فإنها تصبغ اللهب بلون أخضر ناصع . هذا نتيجة للخط الأصفر الناصع في طيف الصوديوم الموجود في ملح الطعام في



الحالة الأولى ، الخط الطيفي الأنضر للنحاس في الحالة الثانية . وبمشاهدة اللهب المصبوغ في جهاز تحليل طيفي ، يمكننا أن نعرف ما إذا كان اللهب يحتوي على أبخرة الصوديوم أو النحاس أو أحد العناصر الكيميائية الأخرى .

ومن المعروف جيدا أن ضوء الشمس يحتوي على جميع ألوان قوس قزح . وبانكساره خلال قطرات الماء أو منشور زجاجي يتحلل إلى نطاقات من الضوء تتغير تدريجيا في اللون من الأحمر إلى البنفسجي وهذا هو ما يظهر لنعين المجردة ، ولكن الفحص الأدق يظهر أن الطيف الشمسي يحتوي على خطوط ضيقة ممتدة تسمى خطوط فراونهوفر وذلك على اسم مكتشفها . وهذه الخطوط الممتدة نتيجة لامتنصاص الضوء المنبعث من السطح المتوهج للشمس في الغازات الباردة نسبيا الموجودة في الطبقات العليا لجو الشمس . وقد أثبت فراونهوفر أن ترتيب الخطوط الممتدة في الطيف الشمسي ينطبق على ترتيب الخطوط الطيفية للصوديوم والنحاس وباقي العناصر التي ترى في الأطياف التي تظهر في مصابيح الغاز . وثبت بعد ذلك أن الغازات الباردة تمتص دائما الضوء ذا الموجة التي طولها هو نفس طول الموجة التي تشعها عندما ترتفع درجة حرارتها . وقد نتج عن ذلك أنه بدراسة الخطوط الممتدة في طيف الشمس والنجوم - أمكن التوصل إلى معرفة الغازات التي تكون غلافها الخارجي البارد نسبيا وبهذه الطريقة اكتشف أن الشمس تحتوي على عنصر لم يكن معروفا حتى ذلك الحين وهو الهليوم الذي يظهر على الأرض كنتيجة لانحلال بعض العناصر المشعة .

وتعتبر دراسة خطوط الضوء ( أو الإشعاع ) والخطوط الممتدة ( أو الامتنصاص ) أساس التحليل الطيفي . اذ يتميز كل عنصر كيميائي بخطوط محددة ذات أطوال موجية محددة . ويتكون الطيف البصري لعنصر ما من ترتيب محدد لهذه الخطوط ، أو ما يمكن أن يسمى « جواز السفر المرئي » لهذا العنصر . اذ يكفي أن ينطبق خط من خطوط الامتنصاص أو الإشعاع على خط لعنصر معين ليثبت وجود ذلك العنصر ، بينما تؤدي الدراسة الأكثر تفصيلا إلى بيانات إضافية عن درجة الحرارة والضغط والمجالات الكهربائية والمغناطيسية عند مصدر الطيف تحت الدراسة .

ويمكن للطيف أن يعين عنصرا كيميائيا أو مجموعة من العناصر ، حيث أن هناك علاقة بين وجود مجموعة من خطوط طيفية معينة وتركيب

ذرات المادة أو جزيئاتها • وينتج كل خط من الخطوط الطيفية من زحزحة ذرة ( أو جزيء ) من مستوى طاقة معين الى مستوى آخر ، ويصاحب هذه الزحزحة اشعاع جزء معين من الطاقة أو امتصاصها ، ويكون الاشعاع أو الامتصاص على هيئة موجة مغناطيسية كهربائية ذات طول معين ، وأحيانا تكون هذه الموجة ضوئية وأحيانا أخرى لاسلكية •

ويقوم علماء البصريات - عند دراستهم للضوء المرئي المنبعث من المصادر الارضية - بدراسة الطيف الاشعاعي ، وهو يتكون من خطوط طيفية ناصعة على أرضية معتمة • ولا تدرس خطوط امتصاص الضوء المرئي كثيرا • وغالبا ما تكون هذه الدراسات - اذا تمت - أثناء دراسة المصادر الفلكية ، بينما يدرس علماء البصريات غالبا طيف الامتصاص عند استخدام الأشعة تحت الحمراء غير المرئية وذلك لعدد من الاسباب • وهنا يمرر الشعاع المنبعث من جسم مسخن خلال الغاز البارد ( أو السائل أو البللور ) المراد دراسته ، ويستخدم علماء البصريات - لتحليل الضوء المرئي أو الأشعة تحت الحمراء الى طيف - منشورات زجاجية أو مصنوعة من مادة شفافة أخرى ومحزوزات حيود خاصة وأدوات أخرى ( تستخدم في حالة الأشعة تحت الحمراء منشورات من الأيونيت أو احدي المواد الأخرى الممتة بالنسبة للضوء ولكنها شفافة للأشعة تحت الحمراء ) •

ويدرس الباحثون غالبا طيف الامتصاص عند العمل في النطاق اللاسلكي ، كما في حالة نطاق الأشعة تحت الحمراء •

من المعلوم أن كثيرا من الجزيئات وعددا من الذرات يكون لها خطوط طيفية موجاتها أطول بكثير من موجات الضوء المرئي بحيث تقع في النطاق اللاسلكي • ولهذه الخطوط أيضا علاقة بانتقال الجزيء أو الذرة الى مستوى طاقة آخر ، ولكن التغير في الطاقة المصاحب لهذا الانتقال يكون صغيرا نسبيا وبالتالي فان تردد الموجات المغناطيسية الكهربائية التي تصاحب هذا الانتقال يكون منخفضا نسبيا ، ويمكن الكشف عنه بالأجهزة اللاسلكية •

وبالطبع عندما نقول ان تردد هذه الذبذبات المغناطيسية الكهربائية منخفض فاننا نقصد ذلك بالنسبة لتردد الذبذبات المغناطيسية الكهربائية للضوء المرئي ، ولكنه يقع عادة في نطاق عشرات الآلاف من الميجاسيكل في الثانية ، أى أعلى بكثير من تردد الموجات اللاسلكية المستخدمة في الاذاعة والتليفزيون ، اذ أن هذا النطاق من الترددات هو نطاق تردد الرادار •

## الخطوط الطيفية على شاشة

إذا فرضنا وعزلنا جزيئا لمادة ما وكان لهذا الجزيء خطوط طيفية ضمن النطاق الالاسلكى ، فانه يشع أو يمتص الموجات الالاسلكية ذات التردد المحدد « بالضبط » . ويمكننا استخدام كلمة « بالضبط » هنا دون غشاضة لأن « التفاوت المسموح به » - أى الفرق بين الترددات التى يمكن ان يشعها الجزيء المنفرد أو يمتصها - قيمته : ١٠ - ١٨ للنطاق السنتيمترى . وبعبارة اخرى لا يمكن ان يتغير هذا التردد بأكثر من جزء من بليون ، بليون .

ولكن كمية الطاقة التى يشعها جزيء واحد أو يمتصها من الضالة بحيث لا يمكن ملاحظتها ، ولهذا كان من الضروري ان تعتمد التجارب على تبادل الفعل بين الموجات الالاسلكية ( وكذلك موجات الضوء ) وعدد كبير من الجزيئات . ولكن الجزيئات فى هذه الحالة ، لا تتبادل الفعل مع الموجة المغناطيسية الكهربائية وحدها ولكن مع بعضها البعض أيضا . اذ تصطدم الجزيئات ببعض ويجدران الوعاء الذى يحتوى الغاز تحت الاختبار ، وذلك نتيجة لحركتها العشوائية فى الفضاء . ويؤثر هذا التصادم الى حد ما على حالة الجزيء . ونتيجة لذلك فان انتقال الجزيء من حالة الى أخرى يصاحبه اشعاع أو امتصاص موجة مغناطيسية كهربائية يختلف ترددها قليلا عن التردد المميز لجزيء منفرد ، وكلما زاد الاصطدام وزادت قوته - زاد الاختلاف ، وتزيد فرصة الاصطدام كلما زاد عدد الجزيئات فى الوعاء ، أى كلما زاد ضغط الغاز . وتعتمد قوة الاصطدام أيضا على درجة الحرارة ، اذ تزيد سرعة الاثارة العشوائية الحرارية للجزيئات بزيادة درجة الحرارة ، وبالتالي تزيد طاقة تبادل الفعل بين الجزيئات بعضها مع البعض بزيادة درجة الحرارة . وهكذا كلما زادت درجة حرارة الغاز وضغطه ، زاد الفرق بين تردد الموجات الممتصة أو المتصدة مما يزيد من عرض الخطوط الطيفية .

ونتيجة لذلك ، نجد انه تحت الضغط الجوى المعتاد ودرجة حرارة الغرفة ، يكون عرض الخطوط الطيفية فى النطاق السنتيمترى كبيرا ، حتى ان الخطوط الفردية تندمج بعضها فى البعض ولا يمكن رؤيتها منفصلة . وهذا هو السبب فى ضرورة الاحتفاظ بضغط الغاز فى حدود جزء من مائة جزء من الضغط الجوى اذا اريد رؤية الخطوط الطيفية منفصلة . وفى هذه الحالة يكون « التفاوت المسموح به » للجزيء عند امتصاصه للموجات التى يتراوح طولها بين سنتيمتر واحد وسنتيمترين حوالى جزء من عشرة آلاف من التردد ، وهذا يعنى انه فى حدود نطاق التحليل الطيفى الالاسلكى

المستخدم يمكن مشاهدة المالاين من الخطوط الطيفية غير المندمجة ، وإذا كان الغاز محل البحث لا يتحول الى سائل في درجات الحرارة المنخفضة نسبيا ، فالتا يتبريده بالثلج الجاف أو الهواء السائل نستطيع خفض السرعات الجزيئية الجاروية الى حد كبير ، مما يخفض من عدد التصادمات بين الجزيئية وبالتالي تضيق الخطوط الطيفية عشرات المرات وبهذا امكن فصل الخطوط الطيفية المتلاصقة .

وفي الطيف الضوئي نلاحظ تغيرات مشابهة في شكل الخطوط الطيفية ولكن الخطوط في هذه الحالة تظهر على شكل نطاقات ساطعة أو معتمة ، ويجب القيام بقياسات مرهقة معقدة لدرجة سطوع الأجزاء المختلفة من الخط لمعرفة شكله .

ويسهل التحليل الطيفي اللاسلكي حل هذه المشكلة الى درجة كبيرة ، اذ ترسم صورة منحنى الخط الطيفي على شاشة جهاز التحليل الطيفي اللاسلكي ، ويتغير ضغط الغاز أو درجة حرارته في خلية الامتصاص بالجهاز ، وبذلك تمكن رؤية التغيرات المناظرة في شكل الخط الطيفي في الحال .

وتمكن الطريقة اللاسلكية من قياس عرض الخطوط الطيفية بدقة لا يمكن الوصول اليها في نطاقى الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء .

ومشاهدة منحنيات الخط الطيفي على شاشات أجهزة التحليل الطيفي اللاسلكي تساعد على دراسة أشكال الخطوط دراسة دقيقة ، كما تزودنا ببيانات قيمة عن طبيعة القوى المؤثرة على الجزيئات .

ومن السمات الملحوظة لأجهزة التحليل الطيفي اللاسلكي الحديثة حساسيتها الفائقة . اذ يكفي لتحليل مادة خطوطها الطيفية واقعة في النطاق السنتيمترى أن نستخدم ميكروجرام ( جزء من مليون من الجرام ) واحدا منها .

ويمكن لبعض أجهزة التحليل الطيفية اللاسلكية أن تعمل على موجات تصل الى أعشار المليمتر . ولأجراء الأبحاث باستخدام هذه الأجهزة يكفي جزء من ألف جزء من الميكروجرام من المادة .

وبدراسة شدة الخطوط الطيفية يمكن إيجاد علاقة بين مدى امتصاص الموجات اللاسلكية وكثافة الغاز ، وهذا أساس لاستخدام التحليل الطيفي اللاسلكي في التحليل الكمي للمخلوطات المعقدة .

ومن اكبر الميزات لهذه الطريقة ، أنه بتغيير كثافة الغازات لا تتغير شدة المنحنى الطيفي على شاشة جهاز التحليل الطيفي ، للاسلكي فقط ، بل وشكله أيضا في نفس الوقت . ونتيجة لهذا يمكن اكتشاف التغيرات في أى غاز مركب يحتوى على أنواع مختلفة من الجزيئات في الحال ، الأمر الذى له أهمية كبرى في عدد من العمليات الانتاجية الكيميائية . وفى المستقبل سيساعد التحليل الطيفي اللاسلكي على أن تصبح العمليات الانتاجية المعقدة أوتوماتيكية مثل عمليات تكرير البترول الخام أو اصطناع الامونيا أو المركبات العضوية المعقدة .

## الفصل فى أعماق الجزيء

وجد العلماء أن « جواز سفر » الجزيء ( وهو طيفه في نطاق الترددات فوق العالية جدا ) لا يساعد على تحديد نوع جزيء المادة تحت الاختبار وحالاتها فحسب ، بل يمكنه أيضا أن يعطى أولئك الذين يصفون مفتاح السر الكثير عن التركيب الداخلى للجزيء .

فمثلا ، اذا وجد باحث خطأ طيفيا في النطاق السنتمترى تردده ٢١٤١٣٩ ميجاسيكل في الثانية ، يمكنه ان يؤكد ان جهاز التحليل الطيفي الذى يعمل به يحتوى على جزيئات من البروم الفلورى المحتوى على نظير البروم الذى وزنه الذرى ٧٩ ، واذا وجد خطأ طيفيا تردده ٢١٣١١٤ ميجاسيكل في الثانية ، يمكنه ان يثق في أنه ناتج عن جزيئات فلوريد البروم التى تختلف عن الاول في أنها تحتوى على نظير ثقيل للبروم وزنه الذرى ٨١ . ومن هذا نرى أن أبسط الأبحاث الطيفية اللاسلكية يمكنها ان تميز النظائر ذات الخواص المتشابهة ، الأمر الذى يعتبر مستحيلا بالتحليل الكيميائى وصعبا للغاية بالطرق الأخرى لتحليل الغازات .

ويمكن للتحليل الطيفي اللاسلكي أن يحدد ترتيب الفترات داخل الجزيء بدقة لا يمكن الوصول إليها بالطرق الأخرى ، أى معرفة المسافات بين الذرات والزوايا بين الخطوط الوهمية التى تصل بينها .

وبالطبع يتطلب هذا الأمر أكثر من مجرد خط طيفي كما في حالة التعرف البسيط على الجزيء ، وكلما كان الجزيء أكثر تعقيدا زاد عدد الخطوط الطيفية التى يجب اكتشافها وقياس تردداتها .

وتقتصر دراسة تركيب أبسط جزيء متكون من ذرتين على تحديد المسافة بين الذرتين ، ويكفى لهذا الغرض العثور على خطين متجاورين من خطوط طيف الجزيء وقياس ترددهما بالاستعانة بجهاز التحليل الطيفي اللاسلكي . وعندما يتم هذا ، يحسب الفرق بين الترددين ثم تحسب المسافة المطلوبة من معادلة بسيطة .

وبالطبع يتطلب الجزيء الأكثر تعقيدا دراسة أكثر تفصيلا « لجواز مروره » لالاسلكي ، اذ غالبا ما يقتضى الأمر قياس شدة الخط ، أى درجة « تصوعه » لالاسلكي بالإضافة الى تردده .

وتعتبر دراسة تركيب الجزيئات المعقدة متعددة الذرات دراسة ذات أهمية خاصة . ففي هذه الحالة لا يستطيع التحليل الطيفي اللاسلكي تحديد ترتيب الذرات المكونة للجزيء فحسب ، بل يمكنه أيضا بيان أماكن النظائر المختلفة اذا كان الجزيء يحتوى على أكثر من نظير واحد لعنصر معين . وحتى الآن لا توجد طريقة أخرى لحل هذه المشكلة .

ويمكن للتحليل الطيفي اللاسلكي أن يتعمق أكثر من ذلك في الجزيء، ويؤدى الى بيانات حتى عن خواص نوى الذرات المكونة للجزيء . اذ وجد أنه اذا ولدت نواة ذرية مجالا مغناطيسيا أو اذا اختلف توزيع الشحنة الكهربائية للنواة عن توزيعه لكرة مشحونة اختلافا ملحوظا ، فإن طيف الجزيء المحتوى على هذه النواة يصبح أكثر تعقيدا . وبدراسة مثل هذه الأطياف المعقدة ، يمكن قياس قيمة المجال المغناطيسى للنواة وتحديد كيفية توزيع الشحنة الكهربائية في الفراغ .

وهذه البيانات ضرورية لا لنظرية تركيب النوى الذرية فقط ، بل أيضا لنظرية التكافؤ الكيميائى التى تعالج القوى التى تربط الذرات بالجزيئات .

وقد سجل التحليل الطيفي اللاسلكي نجاحا ملحوظا فى عدة نواح أخرى ، فالبيانات التى أمكن الحصول عليها عن طريقه أجبرت العلماء على اعادة النظر فى أسس ميدان جديد من ميادين العلم ، وهو الديناميكا الكهربائية الكمية التى تبحث فى تبادل الفعل بين الموجات المغناطيسية الكهربائية والمادة . وقد بدأت القصة عندما أظهرت الأبحاث التحليلية اللاسلكية الدقيقة لطيف الايدروجين اختلافا عن القيم النظرية . وبالإضافة الى ذلك ، أظهرت الملاحظات الطيفية اللاسلكية أن قيمة العزم المغناطيسى للإلكترون تختلف عن تلك التى تحددها النظرية التى كانت موجودة فى تلك الأيام . ولتفسير هاتين الحقيقتين ، كان لزاما التخلي عن

النظرية القديمة ، التي كانت مبنية على افتراض انه يمكن وجود فراغ خال تماما من كل شيء في الطبيعة . اذ وجد ان أكثر الفراغات «فراغاً» ، وهو ذلك الذي لا يحتوى على أية دقائق أولية ( مثل الالكترونات والبروتونات ... الخ ) يحتوى دائما على طاقة مغناطيسية كهربائية على هيئة ما يسمى بذبذبات الصفر . وقد كان اكتشاف تبادل الفعل بين الدقائق الأولية وذبذبات الصفر لمجال ما ذا أهمية عظمى للفيزياء والفلسفة . فان أهم ما فى المادة ليس بالطبع تأكيدها للفرض النظرى الذى افترضه علماء المصور الوسطى من أن « الطبيعة تنفض الفراغ » ، ولكن المهم هو أن احدى التجارب الحاسمة أثبتت اتصالا عميقا بين الفراغ والمادة ، وأثبتت انه لا يمكن وجود فراغ خال من كل أثر للمادة ، وأن هناك دائما مجالا مغناطيسيا كهربائيا ( وهو أحد أشكال المادة المنظورة ) موجودا فى الفراغ وفصلا ، وهذا هو المهم فى الأمر .

وقد ساعد التجليل الطيفى اللاسلكى أيضا أحد العلوم الشابة الأخرى ، وهو الفلك اللاسلكى .

فقد ثبت نظريا أن ذرات الأيدروجين يجب أن تشع خطا طيفيا طول موجته ٢١ سنتيمترا . ولكن شدة هذا الخط - طبقا للحسابات - من الضعف بحيث لا يوجد أى أمل فى اكتشافه فى الظروف المعملية لأن هذا يتطلب معدات معقدة للغاية . ومن ناحية أخرى ، كان الفلكيون قد توصلوا منذ زمن طويل الى نظرية تقول بوجود الأيدروجين فى الفراغ بين الكواكب ، وطبقا لهذه النظرية ، تخترق ذرات الأيدروجين « المتبخرة » من سطح النجوم المتوهجة الفراغ الخارجى ، وكثافة هذا الغاز الكونى صغيرة جدا بالطبع ، اذ يحتوى المنتيمتر المكعب فى المتوسط على ذرة واحدة من الأيدروجين . وفى هذه الظروف ، تصطدم ذرات الأيدروجين ببعضها لا يزيد على عدة مرات كل قرن . وقد اظهرت الحسابات أنه فى هذه الظروف تشع كل ذرة أيدروجين موجة لاسلكية طولها ٢١ سنتيمترا مرة كل عشرة ملايين من السنين . ولكن ابعاد الكون من الضخامة وذرات الأيدروجين فيه من الكثرة بحيث تمكن محاولة اكتشاف هذا الاشعاع بالاستعانة بتليسكوب لاسلكى . وقد تم اكتشاف الاشعاع على الموجة ٢١ سنتيمترا بالفعل باستخدام تليسكوبات لاسلكية خاصة موافقة على هذه الموجة .

وقد كان ذلك عملا عظيما . اذ تأكد بالتجربة وجود الأيدروجين الكونى . وكان هذا مستجيلا بلون استخدام التكنيك اللاسلكى ، اذ لا يمكن اكتشاف الأيدروجين الكونى باستخدام التليسكوبات البصرية

المعتادة ، فإن درجة حرارته ١٠٠ درجة مئوية فقط فوق الصفر المطلق -  
ولهذا لا يشع أى ضوء مرئى .

وبالاستعانة بالتليسكوبات اللاسلكية لم يمكن اكتشاف وجود  
الايدروجين الكونى فحسب ، بل أمكن أيضا قياس درجة حرارته وكثافته  
وسرعته فى مختلف مناطق الفراغ . ويمكن قياس سرعته ، لأن طول  
موجة الخط الطيفى الذى يشعه ذك الايدروجين الكونى يتغير اذا تحركت  
سحابة الايدروجين ككل ، وهذا بسبب تأثير دوبلر الذى تحدثنا عنه  
فى الفصل الخامس بالرادار . وتعتمد درجة حرارة الايدروجين الكونى على  
الحركة العشوائية التى تتحركها ذراته ، وهذا يعنى أن زيادة درجة  
الحرارة تصاحبها زيادة عرض الخطوط الطيفية .

كذلك شوهده خط لاسلكى مزدوج للأيدروجين فى أجزاء معينة  
من السماء ، حدث ذلك عندما كان التليسكوب اللاسلكى متجهاً بحيث  
ينظر الى ذراعى مجرتنا - التى تشبه فى شكلها السديم الحلزونى المعتاد -  
فى وقت واحد .

ومن هذا الخط المزدوج أمكن حساب سرعة دوران المجرة ، لأن تغير  
التردد بفعل ظاهرة دوبلر والناتج عن الدوران يكون أكبر بالنسبة  
للذراع الخارجى عنه بالنسبة للداخلى ؛

ودراسة الخط الطيفى للأيدروجين الكونى ذات أهمية عظمى  
للدراستات الكونية ( تركيب ونشأة الكون ) ، لأن الايدروجين هو المادة  
الأساسية فى دورة المادة .

والمشكلة الكبرى الآن هى العثور على خطوط طيفية أخرى فى اشعاع  
المصادر الفلكية . فمثلا هناك الكثير من الأسباب التى تدفعنا الى توقع  
اكتشاف الخط الطيفى للأهونيا وطول موجته ١٢٥ سنتيمترا فى أجواء  
الكواكب الكبيرة مثل المشتري وزحل وكواكب أخرى ، والخطوط الطيفية  
لبخار الماء فى جو الزهرة .

## الأمطار والثوانى فى الجزئيات

تختبر جميع وسائل قياس الطول دوريا بمقارنتها بمقاييس امامية  
ثانوية - وهذه بدورها تختبر بمقارنتها بالطول الامامى القومى الذى  
غالبا ما يكون المتر الامامى المحفوظ فى خزائن الدولة . والمتر الامامى  
الدولى هو الوحدة الأساسية للطول ، وقد تم الاتفاق بين الدول على أنه  
يحفظ فى فرنسا .



يحقق هذا النظام جميع الأغراض العملية ، ولكن الأبحاث العلمية تتطلب أحيانا دقة أكبر مما يمكن الحصول عليها عندما يكون هناك عدد من العمليات بين القياس الفعلي والقياس الامامي .

ومشكلة قياس الزمن أكثر تعقيدا ، لانه لا توجد ثانية امامية متفق عليها اتفاقا عاما في أى معمل في العالم ، ولا توجد سوى امامات ثانوية مساعدة تسمح بقياس الثانية بدقة تصل الى جزء من مائة مليون جزء من الثانية .

ويمكن الحصول على القيمة الحقيقية للثانية بالحساب من المشاهدات الفلكية فقط ، وذلك بقياس طول اليوم أو - للحصول على دقة أكبر - بقياس الزمن الذي تستغرقه الأرض في الدوران حول الشمس .

وبالاتفاق الدولي ، تعتبر الثانية جزءا من ٩٧٥ ٩٢٥ ٥٥٦ ٣١ جزء من زمن دوران الأرض حول الشمس ، وبالطبع لا يمكن استخدام مثل هذه الوحدة في الحياة اليومية أو في الهندسة أو العلم .

وتساعد اشارات ضبط الوقت التي ترسل باللاسلكي من المراصد الفلكية على تحديد فترات من الزمن كل منها مقدارها ثانية واحدة ، بدقة تصل الى جزء من عشرة ملايين من الجزء من الثانية . وهذه الدقة عالية بالدرجة المطلوبة لعظم الحالات بالطبع ، ولكنها ليست هكذا دائما .

وهنا يجب التحليل الطيفي اللاسلكي لنجدتنا مرة أخرى ، وهو في هذه الحالة لا يزيد من دقة تحديد وحدة الزمن فحسب ، بل أيضا يمكن من ذلك بدون الحاجة الى مراقبات فلكية معقدة وطويلة .

ومن الامور الهامة الجديدة بالذكر هنا ، أن التحليل الطيفي اللاسلكي يفتح الطريق لتوحيد امامي الزمن والطول في نفس الوقت .

ولقد أصبح ذلك ممكنا بعد ان ابتكر ن.ج. باذوف و.م. بروخوروف من معهد الفيزياء التابع لأكاديمية العلوم بالاتحاد السوفيتي ، و س.ه. تاووز من جامعة كولومبيا ، و ج. دبير من جامعة ماريلاند بالولايات المتحدة ( كل مجموعة على حدة ) جهازا هاما : المولد الذري ( المعروف بالميسر في الولايات المتحدة ) . ويختلف هذا الجهاز عن باقي أنواع أجهزة التحليل الطيفي اللاسلكي في أن الجزيئات فيه لا تمتص الموجات اللاسلكية بل تشعها . ونتيجة للظروف التي تتوفر في هذا النوع من الأجهزة تشع جزيئات الأمونيا التي تتحرك في حزمة رفيعة داخل فجوة رنينية معدنية موجات طولها حوالي ١.٢٦ سنتيمترا في الفجوة . وطول هذه الموجة - وبالتالى فترة الذبذبات المغناطيسية الكهربائية المناظرة - ثابت الى درجة كبيرة جدا .

ومن الخصائص الهامة للدقائق الأولية للمادة ، بما فيها الذرات والجزيئات ، ان طاقتها الداخلية لها قيم محددة لا تحتوى على غيرها . وفي الظروف العادية ، تكون الغازات في حالة توازن ديناميكي حرارى . وهذا يعنى ان جزيئات الغاز موزعة بطريقة محددة فى جميع مستويات الطاقة ، فيشغل أكبر عدد من الجزيئات أقل مستوى للطاقة ، ويقل العدد بارتفاع المستوى .

وهذا هو السبب فى قابلية الغازات لامتصاص الطاقة المغناطيسية الكهربائية ، وبالطبع لا يمتص أى غاز جميع الموجات المغناطيسية الكهربائية ، ولكن يمتص الجزيء عندما ينتقل من مستوى طاقة معين الى مستوى آخر أو يشع جزءا محددا من الطاقة يعتمد على التردد المحدد للموجة المغناطيسية الممتصة أو المشعة . فاذا وجد مثل هذا التناظر بين طاقة الانتقال وتردد الموجة ، دل هذا على ان الغاز قد تفاعل مع الموجة المغناطيسية الكهربائية بشدة .

وجدير بالذكر هنا ، أنه عند مرور مثل هذه الموجة الرنينية فى الغاز ، يتساوى احتمال انتقال أى جزيء من مستوى لطاقة المنخفضة الى آخر أعلى مع امتصاص طاقة من مجال الموجة أو انتقاله من مستوى أعلى الى آخر أكثر انخفاضاً مع اعطاء الطاقة الزائدة الى المجال . ولكن نظرا لأن غالبية الجزيئات تكون - فى حالة التوازن الديناميكي الحرارى - فى أقل مستوى للطاقة ، يكون مجموع الجزيئات التى تنتقل الى أعلى ( مع امتصاص الطاقة ) أكبر من عدد الجزيئات التى تنتقل الى أسفل ( مع اشعاع الطاقة ) . وهكذا بالرغم من تساوى احتمال كل من الامتصاص والاشعاع أثناء كل تفاعل ، فان الغاز يمتص الطاقة لأن عدد عمليات الامتصاص الأولية يزداد فى الظروف العادية على عدد عمليات الاشعاع .

فاذا أردنا ان نجعل الجزيئات تعطى الطاقة للموجة المغناطيسية الكهربائية ، أى اذا أردنا أن تكبر هذه الموجة ، يجب أن نجعل عدد عمليات الاشعاع أكبر من عدد عمليات الامتصاص ، وهذا مستحيل كما رأينا اذا كان الغاز فى حالة توازن ديناميكي حرارى .

من ذلك يتضح أنه اذا أردنا ان نجعل الجزيئات تكبر الموجة المغناطيسية الكهربائية ، فمن الضروري ان نزيل التوازن الديناميكي الحرارى حتى نحصل على عدد من الجزيئات فى مستوى الطاقة الأعلى أكبر مما فى المستوى الأقل .

وقد قدم هذا الاقتراح أولا ف.أ. فابريكانت فى رسالة الدكتوراه التى قدمها سنة ١٩٣٩ ، والتى نشرت بعد ذلك بعام . ولكن لم تكن الوسائل

الفنية لتحقيق هذه الفكرة متوفرة في ذلك الوقت غاهملت لزمن طويل .  
أما الآن فقد توفرت الامكانيات لتحويل المادة من حالة الاتزان الى حالة  
نشطة ، حيث يؤدي الانتقال الكمي الى تكبير الموجات اللاسلكية بل  
توليدها .

ويمكن القيام بذلك بعدة طرق . فمثلا يمكننا أن نستغل اختلاف  
شدة تفاعل الجزيئات ذات مستويات الطاقة المختلفة مع المجالات الكهربائية  
والمغناطيسية .

وهذه هي الطريقة المتبعة في المولدات والمكبرات الذرية التي تستعمل  
جزيئات الامونيا . فتتدفق جزيئات الامونيا من عدد من الثقوب الرفيعة  
الى وعاء مفرغ من الهواء بواسطة مضخة خاصة . ويسير شعاع جزيئات  
الامونيا بدون أية مقاومة من الهواء بين الألواح مكثف يتكون من أربعة  
الأواح ذات اشكال خاصة . وتتصل الألواح على التوالي بالطرف الموجب  
والسالب لمقوم جهد عال يشحنها بجهد يصل الى أربعين ألف فلت .

وفي مرور شعاع جزيئات الامونيا بطول محور المكثف ، يجمع  
مجال المكثف الجزيئات ذات الطاقة الأعلى في محوره ويطرد الجزيئات ذات  
الطاقة لأقل . وبهذا الفصل للجزيئات اثناء مرورها بطول محور  
المكثف ، يمكن الحصول على أمونيا في حالة غير مستقرة . ويمكن بعد ذلك  
الاحتفاظ بالغاز في هذه الحالة لمدة طويلة ، ولكن هذا ليس ضروريا .

وتوجد فجوة رنينية موائفة على تردد يناظر تردد انتقال جزيئات  
الامونيا من مستوى أعلى الى مستوى أسفل بعدد الألواح المكثف وعلى  
امتداد محوره .

فإذا سلطت موجة لاسلكية على الفجوة بحيث يناظر ترددها تردد  
رنين الفجوة ، تتفاعل الجزيئات معها بحيث تعطى طاقاتها وتكبرها ، ويزيد  
هذا التكبير كلما زادت عدد الجزيئات النشطة ( ذات الطاقة العالية ) التي  
تدخل الى الفجوة . وفي هذه الحالة يعمل ذلك الجهاز كمكبر ذري .

وبخلاف جميع أنواع المكبرات الأخرى ( المكبرات التي تستخدم  
الصمامات أو الترانزستورات أو المكبرات المغناطيسية ) ، يمتاز المكبر  
الذري بانخفاض ضوضائه الداخلية انخفاضاً كبيراً وبانتقائية عالية .

وبزيادة عدد الجزيئات الفعالة الداخلة الى الفجوة تدريجياً ، يمكن  
الوصول الى حالة تزيد فيها الطاقة التي تعطىها الجزيئات للفجوة على الفقد  
في الطاقة في جدرانها والاشعاع المرتد خلال الثقوب الموجودة في هذه  
الجلران . وفي هذه الحالة تبدأ الاثارة الذاتية للمكبر الجزيئي ويصبح

مولدا جزئيا كما فى حالة المكبر ذى الصمام ، فتنشأ فيه ذبذبات وتستمر  
بعدم أية إشارة خارجية .

ونظرا لأن طاقة التذبذب تتحدد من العمليات التى تتم بين الجزيئات  
والتي لا تتأثر بمضى الزمن ، كما ان تأثير العوامل الخارجية عليها  
ضئيل ، فانه يمكن الحصول على استقرار عال جدا للتردد ، اذ لا يزيد  
الفرق بين زمن الذبذبة فى مولدين جزئيين - وبالتالي طول الموجتين  
المشعنتين - عن جزء من عشرة ملايين ، وبالإضافة الى ذلك فلقد أصبحت  
الطرق التى تمكن من زيادة دقة المولدات الجزيئية معروفة .

وعلى هذا ، فإذا اعتبرنا أن زمن ذبذبة مولد جزئى هو امام للزمن  
وطول موجته امام للطول ، نحصل على امام للزمن والطول وذلك بعملية  
واحدة ، وهى الحصول على الاشعاع الصادر عن الجزيئات من مولد جزئى .  
ولحل هذه المشكلة أهمية عظمى ولا شك فى انها ستكون عظيمة الفائدة  
لعلم القياسات أو المترولوجى .

ويمكن حل عدد من المشاكل الهامة بالاستعانة بالمولد الجزيئى .  
فمثلا يمكن إلقاء الضوء على عدم انتظام دوران الأرض .

ففى البداية حدد العلماء الثانية على أساس دوران الأرض حول  
محورها . وبعد أن وجد أن طول اليوم يتغير بدرجة كبيرة ، تقرر قياس  
الزمن على أساس الدوران السنوى للأرض حول الشمس كما ذكر من  
قبل ، وبمقارنة المشاهدات الفلكية بزمن ذبذبة مولد جزئى ، امكن  
دراسة طبيعة التغيرات فى سرعة دوران الأرض بدقة لاكتشاف سببها .

ويبحث العلماء الآن امكان القيام بتجربة هامة ، لم يكن اجراؤها  
ممكنا قبل تصميم المولد الجزيئى .

تؤدى نظرية قوى الجاذبية التى وضعها اينشتاين الى نتيجة مؤداها  
ان معدل سريان الزمن ليس قيمة مطلقة . ونتيجة لهذا فان فترة دوام  
جميع العمليات الدورية التى يمكن استخدامها لقياس الزمن تعتمد على  
قيمة قوة الجاذبية .

ان الزمن يمر بالقرب من الكتل الكبيرة من المادة أبطأ منه بعيدا  
عنها . ولقد اختبرت هذه النتيجة النظرية بالملاحظة الفلكية لطيف أحد  
توابع النجم اللامع المسمى بالكلب الأكبر . ولم تكن تلاحظ هذه الظاهرة  
على الأرض حتى الآن نظرا لأن الاختلاف المتوقع صغير جدا ، اذ طبقا  
للنظرية ، تختلف سرعة ساعة موضوعة على أعلى الجبال عن واحدة مثلاً

تماما فى أعمق منجم بمقدار جزء من مليون المليون فقط . ولا تستطيع  
أية ساعة من الساعات المعروفة حتى الآن - بما فيها ساعات بللورات  
الكوارتز المعلقة - أن تشعر بمثل هذا الفرق الصغير .

ولكن باستخدام مولدين جزئيين ، يتوقع العلماء إمكان إجراء مثل  
هذه التجربة فى المستقبل القريب .

ولا شك فى أن المولدات الجزئية ستجد استخدامها واسع النطاق ،  
لا فى مجال الأبحاث فحسب ، بل فى الهندسة اللاسلكية أيضا : فى  
الملاحه اللاسلكية والتحكم من بعيد والاتصالات .

وفى الختام يجب ملاحظة أن التحليل الطيفى اللاسلكى ليس ميدانا  
معزولا عن ميادين العلم الأخرى ، إذ نشأ من تزاوج عدة علوم : الهندسة  
اللاسلكية والفيزياء ، أو الهندسة اللاسلكية والكيمياء ، وتقنياته على  
درجة مساوية من الأهمية فى دراسة المشاكل المختلفة فى الفيزياء  
والكيمياء والالكترونيات وحتى الفلك .

ومن الطريف ملاحظة أن التحليل الطيفى اللاسلكى الذى نشأ على  
أساس من معدات الرادار ، يمهّد الآن الطريق أمام الرادار . إذ تجرى  
الآن أبحاث على التحليل الطيفى اللاسلكى على موجة طولها ٣.٥ م ، أى  
فى نطاق من الترددات لم يتقنه الرادار حتى الآن . وتعطى مثل هذه  
الموجات القصيرة أساسا آملا فى الحصول على رؤية مباشرة بالموجات  
اللاسلكية ، كما أمكن الحصول على أنابيب الرؤية الليلية التى تعمل  
بالاشعة تحت الحمراء .

وبالإضافة إلى التحليل الطيفى اللاسلكى للغاز ، يجرى الآن تطوير  
نوع آخر هام من فروع التحليل الطيفى اللاسلكى ، وسيؤدى هذا  
النوع - بالاستعانة بالموجات اللاسلكية - إلى معلومات هامة عن تركيب  
الجوادم والسوائل ، وكذلك بيانات جديدة هامة عن خواص النوى الذرية .

ويعتمد هذا الفرع من فروع التحليل الطيفى اللاسلكى على ظاهرة  
الرنين البارامغناطيسى التى اكتشفها ي.ك. زفويسكى فى سنة ١٩٤٤ .  
وقد منح هذا العالم الذى كان وقتها عضوا مراسلا فى أكاديمية العلوم  
بالاتحاد السوفيتى جائزة لينين سنة ١٩٥٧ لاكتشاف ظاهرة الرنين البارامغناطيسى ولأبحاثه المثمرة التى قام بها بعد ذلك فى هذا المجال .

ويحدث الرنين البارامغناطيسى كنتيجة لانتقال المواد الباردة  
مغناطيسية ( متوازية المغناطيسية ) بين مستويات الطاقة عندما توضع  
فى مجال مغناطيسى .

وتختلف الذرات والأيونات البارا مغناطيسية عن غيرها في ان العزم المغناطيسى لواحد من الكترونات أو أكثر لا يصادفه العزم المغناطيسى للالكترونات الأخرى ، بعكس الذرات الديامغناطيسية التى تعادل فيها العزوم المغناطيسية للالكترونات بعضها البعض . ولهذا السبب تكون الذرات الديامغناطيسية متعادلة مغناطيسيا فى حالة عدم وجود مجال مغناطيسى خارجى ، بينما تنصرف الذرات والأيونات البارا مغناطيسية كما لو كانت مغناطيسات صغيرة حتى فى حالة عدم وجود مجال مغناطيسى خارجى . وهذا نتيجة لوجود عزوم مغناطيسية الكترونية غير متعادلة فيها .

فاذا دخلت ذرة أو أيون بارامغناطيسى فى مجال مغناطيسى خارجى ، تنشق مستويات الطاقة فيه ، ويصبح الانتقال بين مستويات الطاقة هذه بفعل الموجات المغناطيسية الكهربائية ممكنا .

وتقع ترددات الرنين المناظرة لهذه الانتقالات بالنسبة لمعظم المواد فى النطاق اللاسلكى حتى الموجات الستيمترية ، وتتغير ترددات الرنين بتغير المجال المغناطيسى الخارجى .

ولا تمكن ظاهرة الرنين البارا مغناطيسى من القيام بالابحاث القيمة التى ذكرناها من قبل فحسب ، بل تسمح أيضا بتصميم نوع آخر من المكبرات والمولدات الجزئية .

وعموما لا يمكن فصل الجزئيات الموجودة فى مستوى الطاقة الأعلى فى البللورات البارا مغناطيسية عن تلك الموجودة فى المستوى المنخفض . ولتنشيط مثل هذه البللورات - حتى يمكنها تكبير الموجات اللاسلكية - تستخدم طريقة اقترحها ن.ج. بازوف و.م. بروخوروف .

ويتطلب تحقيق هذه الطريقة انتقاء ثلاثة مستويات مرتبة ترتيبا محددا ضمن مستويات الطاقة المتعددة التى تكون عليها الأيونات البارا مغناطيسية فى بللورة معينة . وباختصار ، لنفترض ان المستوى الثالث أعلى من المستويين الآخرين ، أى أنه يناظر طاقة أعلى ، وبما أن البللورة تكون فى البداية فى حالة اتزان ديناميكى حرارى ، فإن طاقة الغالبية العظمى من الالكترونات ، تكون منساظرة لأكثر المستويات انخفاضا ، وتناظر طاقة عدد أقل من الالكترونات المستوى الأوسط ، ولا يشغل المستوى الأعلى الا عدد قليل من الالكترونات التى تناظر طاقتها هذا المستوى .

ولهذا ، عندما تتفاعل مثل هذه البلورة مع موجة مغناطيسية كهربائية ، تمتص طاقة الموجات التي تناظر طاقتها طاقة الانتقال بين المستويين المنخفضين ، فإذا كان المطلوب اشعاعا لا امتصاصا ، تكفى إزالة عدد كاف من الإلكترونات من المستوى المنخفض ، بحيث يصبح العدد الباقي أقل من عدد الإلكترونات في المستوى المتوسط .

ويمكن أن يتم هذا بتعريض البلورة لموجة تناظر طاقة الكم فيها. فرق الطاقة بين المستوى المنخفض والعالي . فإذا كانت الموجة قوية بالدرجة الكافية ، فإنها ترفع عدد الإلكترونات الموجود في المستوى الأعلى. وتخفض عددها في المستوى المنخفض . فإذا كان انتقاء المستويات صحيحا ، يمكن أن يصل النقص في عدد الإلكترونات إلى الحد الذي يصبح فيه عددها في المستوى المنخفض أقل منه في المستوى المتوسط ، الأمر الذي يعتبر كافيا جدا لتكبير الموجات اللاسلكية . وقد تم تصميم مكبرات بارامغناطيسية من هذا النوع في عدد من المعامل في الاتحاد السوفيتي والولايات المتحدة .

وحتى يصبح الفرق بين « سكان » المستويين المرتفع والمنخفض في حالة الاتزان الديناميكي احرارى كبيرا بالدرجة الكافية ( وهذا ضرورى حتى يمكن للموجة المساعدة أن « تخفض عدد سكان » المستوى المنخفض بالدرجة الكافية ) ، يجب حفظ البلورة البارا مغناطيسية في درجة حرارة منخفضة جدا ، كذلك يلزم وجود البلورة في هذه الدرجة المنخفضة من الحرارة للاقلال من الحركة الحرارية داخلها إلى الدرجة التي تجعلها لا تتداخل مع عمل المكبر .

وتعمل المكبرات البارا مغناطيسية التي نفذت حتى الآن في درجة حرارة الهيليوم السائل ، وهي أقل من ٢° كلفن ( مطلقة ) . وهناك نوع من هذه المكبرات لا يعمل الا في درجة حرارة ٢٥° كلفن ، وهذا هو السبب في أن الضوضاء الداخلية للمكبرات الجزيئية التي صممت على هذا الأساس أقل من تلك المكبرات الجزيئية التي تستخدم شعاعا جزيئيا من الامونيا . ومن المميزات الأخرى للمكبرات البارا مغناطيسية أنها سهلة الموائمة في نطاق واسع من الترددات بتغيير المجال المغناطيسي تغييرا بسيطا .

ويمكن صنع مكبر بارامغناطيسى بدون استخدام اشعاع مساعد على أساس استخدام مستوى طاقة فقط ، وتصل كفاءة مثل هذه المكبرات إلى أقصاها في مدى الموجات اللاسلكية المليمترية أو حتى الأقصر .

وهناك عدد من الطرق التي يمكن بها صنع مكبرات تحتاج الى التعرض ميدئيا لموجات لاسلكية للآثاره ، ولكن للطرق التي لا تحتاج لذلك جاذبية خاصة ، وفي حالة الموجات القصيرة جدا لا يكون هناك غنى عن هذه الطرق ، لأن الحصول على موجات لاسلكية قوية بالدرجة الكافية في هذا النطاق صعب ان لم يكن مستحيلا تماما في الوقت الحاضر .

ولنتصور أن بللورة بارامغناطيسية قد وضعت في مجال مغناطيسي ثابت لمدة كافية من الوقت ، ففي حالة الاتزان الدينامي الحراري تضبط غالبية المغناطيسات الأولية الدقيقة اتجاهها على اتجاه المجال لأنه يمثل بالنسبة لها وضع الطاقة الصغرى . وهذا يعنى أنه في هذه الحالة تمتص المغناطيسات الأولية عند تفاعلها مع موجة مغناطيسية كهربائية ذات تردد مناسب - عموما - جزءا من طاقة الموجة وتدور عبر المجال ، أي تنتقل الى مستوى طاقة أعلى .

وتتغير الصورة اذا عكس اتجاه المجال المغناطيسي الثابت فجأة قبل تسليط الموجة المغناطيسية الكهربائية ، وفي الحقيقة ، اذا عكس اتجاه المجال المغناطيسي بسرعة كافية ، لا تستطيع هذه المغناطيسات الأولية أن تتبع حركته وتظل في اتجاهها الأول ، ويعنى هذا أنها تصبح في اتجاه مضاد لاتجاه المجال وليس في نفس اتجاهه كما كانت .

وعندما تتفاعل هذه المغناطيسات مع موجة مغناطيسية كهربائية بنفس التردد ، كما سبق ، تنتقل معظم المغناطيسات الأولية التي كانت في عكس اتجاه المجال من وضع الطاقة الأعلى الى وضع الطاقة الأدنى وتعطى طاقتها للموجة ، وهذا يعنى تكبير الموجة . وقد قام العالمان الأمريكان بورسيل وباوند بتجربة من هذا النوع في سنة ١٩٥٠ .

وبالطبع عندما يصبح عدد المغناطيسات الأولية المتجهة في اتجاه المجال المغناطيسي مساويا لتلك المضادة له يتوقف التكبير ، الأمر الذي يعنى ضرورة إيجاد طريقة لاستعادة حالة الاشباع . ولا شك في أن هذه المشكلة الفنية ستحل في القريب العاجل ، وستمكن هذه الطريقة من صنع مولدات ومكبرات بارامغناطيسية للموجات القصيرة جدا ، وواضح أن العامل الوحيد الذي سيحدد الاستخدام هو قيمة المجال المغناطيسي الذي يمكن الحصول عليه .

ومن المؤكد أن أي تطوير للتحليل الطيفي اللاسلكي ، سيكون له نفع كبير للعلم والهندسة .



## الات الحاسبة الألكترونية

استبدلت القوة العضلية للانسان فى كثير من الأعمال المجهدة بالمكنات والآلات منذ زمن بعيد \* ولكن لم تحل المكنة محل القدرة العقلية للانسان قبل منتصف هذا القرن الا بوسائل بدائية جدا \*

ونحن نعاصر الآن ثورة حقيقية فى تطوير وسائل ميكنة المجهود العقلى \* وضمن هذه الوسائل الآلات الحاسبة الألكترونية ذات السرعة العالية \* وقد حتمت المشاكل العلمية والهندسية ذات الطبيعة العاجلة تصميم هذه الآلات \*

فمثلا يشتمل رسم الخرائط طبقا للمساحة الجيوديسية على حل مجموعة من المعادلات يصل عددها الى ٨٠٠ معادلة \* وتتكون الحسابات من ٢.٥٠ ٠٠٠ ٠٠٠ عملية حسابية ، ومثل هذا العدد من العمليات الحسابية اذا قام به عشرة رجال مزودين بمكنات الجمع يستغرق ٤٠ سنة ، وقد قامت الآلة الحاسبة الألكترونية بى سم (★) الموجودة فى معهد الميكانيكا الدقيقة وتكنيات الحساب التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية بحلها فى عشرين ساعة ( شكل ٣٨ ) \*

وقد عمل المهندسون والمصممون طويلا فى تصميم السفن الصاروخية للتنقل بين الكواكب ، فاذا اردنا ان نجعل الصاروخ يهبط على القمر مثلا ولا يمر بجواره الى اجواز الفضاء ، يجب ان نحسب مساره مع اعتبار جميع العوامل التى تؤثر عليه \* مثل هذه الحسابات تستغرق عامين من العمل المستمر ليتمكن العلماء من انجازها ، بينما تحل الآلة الحاسبة الألكترونية هذه المسألة فى ساعتين \*

(★) هذه الحروف اختصار للتعبير « آلة حاسبة إلكترونية ذات سرعة عالية » باللغة الروسية \*



( شكل ٢٨ ) : الآلة الحاسبة الإلكترونية ذات السرعة العالية ( ب ي س م ) التابعة  
لأكاديمية العلوم السوفيتية .

ومن المشاكل المعقدة في انشاء الماكينات انتاج الاجزاء ذات الاشكال  
المتغيرة . مثل التوربينات والضفافات وفوهات المكينات النفاعة وكثير من  
الاجزاء الدقيقة الاخرى . وقد ادى استخدام الآلات الحاسبة الإلكترونية  
في حساب اشكال الاجزاء وفي التحكم الآلى في المكينات التي تصنعها الى  
نتائج رائعة أيضا . فمثلا يستغرق العامل الماهر اسبوعين في صناعة  
دليل موجى معقد مكون من لوحين معدنيين باحدهما مجار ذات اشكال  
معينة وبالأخر الصورة المقلوبة لها ، وبالاستعانة بآلة حاسبة الكترونية ،  
تمكن صناعة نفس الدليل الموجى في ساعة ، بما في ذلك جميع العمليات  
التحضيرية . وهاك مثال آخر : يستغرق الحاسب ستة أشهر في حساب  
الارتفاع في درجة حرارة كرسى التحميل الدفعى المستخدم في مولد  
كهربي يعمل بالطاقة المائية ، وقد اجريت هذه الحسابات على الآلة  
الحاسبة الإلكترونية طراز م - ٢ الموجودة في معهد هندسة القدرة التابع  
لأكاديمية العلوم بالاتحاد السوفيتي في نصف ساعة .

وتبلغ تكاليف المليون من العمليات الحسابية التي تتم باستخدام  
الآلة الحاسبة طراز م - ٢ أربعة روبلات فقط . ويبلغ عدد العمليات  
الحسابية التي تتم في الآلة الحاسبة الإلكترونية في الثانية الواحدة ما بين  
ثمانية آلاف وعشرة آلاف ، بينما يمكن للحاسب المزود بماكينة جمع أن  
يؤدى ٢٠٠٠ عملية حسابية في يوم العمل بأكمله . ومن هنا نرى أن

تكاليف تشغيل الآلة الحاسبة الالكترونية لمدة ثانية واحدة حوالى أربعة كوبيكات وتقوم الآلة فى هذه المدة باتمام أربعة امثال ما يمكن ان يقوم به الحاسب فى يوم عمل مدته ٨ ساعات •

وقد أدت المراحل الأولى من استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية ذات السرعة العالية الى نتائج مذهلة • فبعض النظر عن ميدان العلم أو الاقتصاد القومى الذى تستخدم فيه كانت دائما تفتح آفاقا وامكانيات جديدة •

## الصمامات الالكترونية تعد

كيف تبدو هذه الآلات الرائعة ولماذا تحسب بهذه السرعة ؟ •

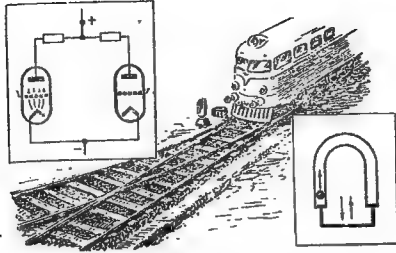
تستخدم الآلات الحاسبة الالكترونية - كما يفهم من اسمها - الصمامات الالكترونية أو اشباه الموصلات التى حلت محل الصمامات ولكنها أكثر عولا واقتصادا واصغر حجما •

وتستخدم الصمامات الالكترونية فى اجزاء الآلة الحاسبة الالكترونية المختلفة ، ولكن العنصر الرئيسى فيها هو مجموعة بسيطة مكونة من صمامين وتسمى الدائرة النطاطة • وهذه الدائرة هى العنصر الحسابى الاساسى فى جميع الآلات الحاسبة الرقمية الحديثة عالية السرعة ، أى الجزء من الآلة الحاسبة الذى يقوم بالمد • وكذلك تستخدم الدائرة النطاطة فى اجزاء أخرى من الآلة الحاسبة الالكترونية • لهذا يجب ان نعرف ما هى الدائرة النطاطة وكيف تعمل اذا اردنا ان نفهم كيف تعمل الآلة الحاسبة الالكترونية •

تعتبر الدائرة النطاطة من أكثر الدوائر الالكترونية التى يمكن الاعتماد عليها ( شكل ٣٩ ) • وفى هذه الدائرة ، لا يمكن لاي من الصمامين إلا أن يكون فى احدى حالتين ، اما « موصلا » أو « مقطوعا » بحيث يكون احدهما موصلا والآخر مقطوعا •

وتعمل الدائرة كما لو كانت مرحلا الكترونيا أو تحويلة سكة حديد أوتوماتيكية • فكل هذه الادوات لا يمكن إلا أن تكون فى احدى حالتين مستقرتين ، اما فى احد الاتجاهين تماما أو فى الآخر تماما •

والدائرة النطاطة أقدم من الآلة الحاسبة الالكترونية بكثير ، اذ كانت تستعمل منذ زمن طويل كمفتاح كهربائى الكترونى ، كما كانت تستخدم



( شكل ٣٩ ) : الدائرة النطاطة الصمامية وحببيتها •

عدة مراحل نطاطة لعد القطع المنتجة في المصانع أو توماتيكيا ولعد الدقائق الكونية أو عدد الدقائق المتولدة من اضمحلال إشعاعي • وتصلح الدوائر النطاطة للعد لا لأنها تستقر في إحدى حالتين متزنتين فحسب ، بل أيضا لأنها يمكنها ان تنتقل من احدهما الى الاخرى في نفس اللحظة تقريبا • بفعل النبضات الكهربائية •

ولتقريب طريقة عملها الى الأذهان ، نفترض أننا وضعنا كرة من الصلب في أنبوب منحني بحيث يكون طرفاه الى أسفل فنرى أنها لا تكون الا في إحدى حالتين مستقرتين : اما في قاع الساق اليميني للأنبوب أو في قاع الساق اليسرى • اذ بعد ان تنزل من قمة الأنبوب لاقبل رجة ، تستقر على القاع بحيث تظل في هذا الوضع المستقر لمدة لا نهاية لها • فإذا اردنا ان نحرك الكرة من هذا الوضع المستقر • ولنفرض انه في قاع الساق اليميني الى الوضع المستقر الآخر في قاع الساق اليسرى ، يجب ان نعرضها لدافع ما مثل تحريك أحد الكباسين الموضوعين في الطرفين السفليين من الأنبوب ، فان الكباسين سيقذفان بالكرة من مساق الى الاخرى ، وبهذا تنتقل دائرتنا النطاطة الميكانيكية من إحدى حالتيهما المستقرتين الى الحالة الاخرى • وبهذا لا يكون هذا الجهاز الميكانيكي الا في إحدى حالتين مستقرتين اما والكرة في الساق اليسرى أو وهي في الساق اليميني •

وكذلك يمكن للدائرة النطاطة الالكترونية ان تكون في إحدى حالتين مستقرتين ، اما أن يكون التيار في الصمام الايمن مقطوعا وفي

الأيسر موصلا بكامل قوته أو بالعكس . ويعمل نبضة كهربائية تتحول الدائرة الى الحالة المستقرة .لثانية حيث ينقطع التيار عن الصمام الايسر .ويمر تيار الدائرة الكهربائية بأكمله في الصمام الأيمن .

وبينما يستغرق الانتقال من احدى الحالتين المستقرتين الى الاخرى في الدائرة النطاطة الميكانيكية ( الانبوب المنحني المقلوب ) جزءا من مائة جزء . من الثانية على الاقل نظرا لوزن الكرة ، تنتقل الدائرة النطاطة الالكترونية من احدى الحالتين الى الاخرى في جزء من ألف مليون من الثانية نظرا لعدم وجود خاصية القصور الذاتي في الصمامات الالكترونية .

فاذا سلطت نبضة كهربائية على دائرة نطاطة ، تنتقل من احدى الحالتين الى الاخرى بحيث تمتد نبضة واحدة ، اما اذا لم تسلط أية نبضات فان هذه الدائرة القدحجية تظل في نفس حالتها ، أو بعبارة أخرى تسجل صفرا ، ونظرا لأن الدائرة النطاطة لا يمكنها الا أن تكون في احدى حالتين مستقرتين تناظر « صفرا » أو « ١ » ، فان الآلات الحاسبة الالكترونية تستخدم نظاما ثنائيا في العد .

وللنظام الثنائي تاريخه الخاص ، فيوما ما كانت الاشياء تعد بالخمسات ( ربما لوجود خمسة أصابع في اليد ) . وحتى الآن تعدد الأشياء أحيانا بالستة ، أما أساس العد في أيامنا هذه فهو النظام العشري ، ويقسم هذا النظام الأرقام جميعا الى مجموعات عشرية : أحاد وعشرات ومئات وآلاف ٠٠٠ الخ ، ولكن العالم الألماني ليبنتز اقترح استخدام نظام مكون من رقمين « الصفر » و « ١ » ، وبينما يعتمد النظام العشري على الرقم ١٠ ويمكن ان تضم كل مجموعة عشرية واحدا من عشرة ارقام من الصفر الى الرقم ٩ ، فان النظام الثنائي يعتمد على الرقم ٢ ، ويحتوي كل عمود على أحد رقمين ، « صفر » أو « ١ » .وبحيث تكون قيمة كل عمود ضعف قيمة العمود السابق . ويمثل أى عمود بالاستماتة برقمين فقط « الصفر » و « ١ » ، فمثلا نجد في النظام العشري ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ ، ٧ ، ٨ ، ٩ الخ ، أما في النظام الثنائي فيقابل هذه الأرقام ما يأتي : ١ ، ١٠ ، ١١ ، ١٠٠ ، ١٠١ ، ١١٠ ، ١١١ ، ١٠٠٠ الخ .

ولننظر كيف يتكون النظام العشري المعتاد حتى يمكننا ان نفهم هذا الأمر بشكل أوضح . ففي النظام العشري لا تتوقف قيمة كل رقم .في هذا النظام على شكله فقط وانما على مكانه أيضا ، أى على ما اذا كان الرقم وحيدا أم ان هناك ارقاما أخرى على يمينه ، فمثلا يعبر الرقم ٧ عن

العدد ٧ ( سبع وحدات ) ، اما اذا كان هناك أى رقم آخر على يمينه ؛ فانه يعبر عن سبعين ( سبع عشرات ) ، واذا كان هناك رقمان على يمينه فانه يعنى سبع مئات ، ولا يهنا هنا أى الأرقام على يمينه ، فمثلا فى كل من العددين ٧١٢ ، ٧٣٥ يعنى الرقم «٧» سبع مئات ، ولهذا يسمى نظامنا العشرى نظاما وضعيا لان قيمة كل رقم تتوقف على وضعه .

ويعنى الرقم « صفر » أنه لا توجد أية وحدات حيث يوجد الصفر ، نمثلا الرقم ٧١٢ يعنى فى الحقيقة ما يأتى : هناك سبع مئات وعشرة واحدة ووحدين ، بينما يعنى الرقم ٧٠٢ أنه هناك سبع مئات ولا توجد عشرات بينما هناك وحدتان . وقد اصطلح على عدم كتابة اصفار على يسار الأرقام المعنوية ، ولولا هذا لكان لزاما علينا كتابة عدد هائل من الاصفار الى اليسار اذ لا يوجد فى أى من الامثلة السابقة أية آلاف ولا عشرات :آلاف ولا ملايين ... الخ .

ويجب ملاحظة ان كل خانة من خانات النظام العشرى تمثل عشرة اضعاف السابقة ، فعشر وحدات عشرة واحدة وعشر عشرات مائة واحدة وعشر مئات ألف واحدة وهكذا .

وبشكل النظام الثنائى بنفس الطريقة ، ولكن نظرا لانه يعتمد على الرقم ٢ فاننا لا نحتاج الا الى رقمين للعد الوضعي : واحد وصفر .

ولكن تختلف كل خانة فى هذه الحالة عن سابقتها بمقدار الضعف ، ويمكن ان يكون الرقم الذى يشغل الخانة الاولى اما صفرا أو واحدا ، وتعنى الخانة الثانية وحدتين أو الكمية « اثنين » ، وتعنى الخانة الثالثة اثنتى اثنين - أو أربعة - وتعنى الخانة الرابعة أربعين - أو - ثمانية ،

وعلى هذا اذا أردنا ان نعبر عن الرقم ٣ نعبر عن « اثنين » واحدة و « واحد » واحد ونكتب ١١ بالنظام الثنائى ، اما الرقم ٩ فيكتب بالطريقة الآتية : « ثمانية » واحدة . ولا « أربعة » ولا « اثنين » و « واحد » واحد . ( ١٠٠١ ) بينما يكتب الرقم ١٠ بالنظام الثنائى على أساس انه مكون من « ثمانية » واحدة ، لا « أربعة » و « اثنين » واحدة ولا « أحاد » . ( ١٠١٠ )

وقد اتضح ان هذا النظام كان معروفا بالفعل منذ ٣٤٠٠ سنة ، فلأن الأرقام لم تكن قد اخترعت كان الأقدمون يستخدمون شرطة - « - » ونقطتين « . » ، وكانت الشرطة تعنى « واحدا » بينما تعبر النقطتان عن بداية ونهاية شرطة غير مكتوبة أو بعبارة أخرى « صفر » .

وهنا نساءل : كيف يمكن عد لنبضات المسطرة على دخل الوحدة

الحسابية في الآلة الحاسبة الالكترونية ؟ • كيف يمكن ان نحدد عدد المرات الذي تحولت فيها الدائرة النطاطة من احدى حالتها المستقرتين الى الأخرى ؟ ، بالطبع لايمكن ان نعرف بمجرد النظر الى دائرة نطاطة كم نبضة سلطت عليها أو كم مرة انتقلت من احدى حالتها الى الأخرى ؟ لا يمكن بمجرد النظر أن نحدد الا أن عدد الانتقالات كان فرديا أو زوجيا ، فإذا كانت الدائرة قد عادت الى حالتها الأصلية كن عدد النبضات زوجيا ، لأن كل ثاني نبضة تعيد الدائرة الى حالتها ، لأصلية •

يمكن ان نعد عدد النبضات بالاستعانة بمجموعة نطاطة تسمى دائرة العد •

وتستطيع المرحلة الواحدة من الدائرة النطاطة ان تعد الى اثنين : إذا تلقينا النبضة الأولى الى حالتها المستقرة الثانية بينما تعيدها النبضة الثانية الى حالتها الأولى ، ولكن يمكننا أن نجعل عودة هذه المرحلة النطاطة الى حالتها الأولى تغذي نبضة الى مرحلة نطاطة أخرى • وهذا يعنى ان المرحلة الثانية تعد « ١ » عندما تعد الأولى « ٢ » وتعود الى حالتها الأولى ، وبهذا تسجل المرحلة الثانية ان الأولى قد عدت نبضتين •

وعندما تعد الدائرة النطاطة الأولى نبضتين أخريين تشغل الدائرة النطاطة الثانية فتعود الى حالتها الأولى مسجلة بهذا ان الدائرة النطاطة الأولى قد عدت « اثنين » مرتين •

ومن الواضح الآن اننا اذا أردنا استمرار العد نحتاج الى مرحلة نطاطة ثالثة تتصل بالثانية تماما كما تتصل الثانية بالأولى ، وبهذه الطريقة تتكون دائرة العد •

ويمكن ايضاح كيفية عمل دائرة العد ذات المراحل الثلاثة باستعانة بالجدول التالي :

عدد النبضات	صفر	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨
وضع المرحلة الأولى	صفر	١	صفر	١	صفر	١	صفر	١	صفر
وضع المرحلة الثانية	صفر	صفر	١	١	صفر	صفر	١	١	صفر
وضع المرحلة الثالثة	صفر	صفر	صفر	صفر	١	١	١	١	صفر

وبقراءة الأعمدة الموجودة تحت السطر العلوي في الجدول من أعلى الى أسفل نحصل على عدد النبضات المسجلة بالعد الثنائي •

وللتمييز بين الصفر والثمانية يجب أن نضيف مرحلة رابعة ،  
تماما كما احتجنا الى المرحلة الثانية لتمييز بين الاثنين والصفر والمرحلة  
الثالثة لتمييز الأربعة من الصفر .

وبهذا يمكننا ان نعرف بمجرد النظر الى مجموعة نشاطات كم نبضة  
وصلت الى المرحلة الأولى .

ويمكن لدائرة مكونة من ثلاثين مرحلة نشاطات ان تعد ما يزيد على  
الف مليون نبضة ، أو على وجه الدقة ٨٢٣٤٤٤٧٣٧٠ نبضة . فإذا  
أردنا ان نعد نبضة واحدة أكثر من ذلك ، يجب ان نضيف المرحلة  
الحادية ولثلاثين لأن هذه النبضة ستعيد المراحل الثلاثين جميعها الى  
حالتها الأولى ، ولكن اذا أضفنا هذه المرحلة يمكننا ان نستمر في العد  
الى ٢١٤٧٤٨٩٦٤٧ نبضة .

وتجمع عناصر العد من الصمامات الالكترونية والمكونات المصاحبة لها  
في وحدات قياسية تكون الدائرة الحاسوبية للمكنة .

ويمكن لمثل هذه المكنة ان تجمع عددين كل منهما يتكون من تسعة  
ارقام في أقل من ثلاثة أجزاء من المليون من الثانية .

ولا يستطيع أى انسان ان يدخل الاعداد في الدائرة الحاسوبية  
للمكنة بالمعدل الذى يشغلها بالكامل ، وهذا الموقف يشابه ذلك الذى  
واجهه عمال التلغراف بعد اختراع أجهزة التلغراف الآلية عالية السرعة .  
اذ يمكن لهذه الأجهزة أن ترسل عشرات الآلاف من الكلمات فى الساعة  
بحيث لا يستطيع العمال تفذيتها بالرسائل بالسرعة المناسبة . ولكن  
سرعان ما وجد الحل ، اذ يقوم عدد من العمال المزودين بمكنات خاصة  
بتفقيص الرسائل أولا على شريط من الورق بحيث يمثل كل حرف  
بمجموعة من الثقوب ، وبعد هذا يفنى الشريط المثقب فى جهاز الارسال  
التلغرافى الذى يرسل الرسائل آليا بالسرعة المطلوبة .

وقد استخدم مصممو الآلات الحاسبة ذات السرعة العالية نفس  
الفكرة . والآن يعتبر جهاز الفخل جزءا ضروريا من أجزاء هذه الآلات  
الحاسبة . اذ تثقب لمادة المراد تفذيتها الى الآلة الحاسبة أولا على بطاقة  
أو شريط من الورق . والشفرة المستخدمة هنا احدى الشفرات التى  
كانت مصممة للتلغراف الآلى ، ولكن الآلة الالكترونية لاستجيبه  
الا للاشارات الكهربائية أو النبضات . ولذلك يعتبر الشريط المثقب للآلة  
الحاسبة الالكترونية كالكتاب للانسان .



ويعمل جهاز الدخول عمل العينين للآلة اذ يقرأ الشريط ويحول مجموعات الثقوب الى مجموعات من النبضات التي يمكن للآلة ان تفهمها »

ويعمل جهاز السخل في الآلة الرياضية الحديثة بالطريقة التالية : يوجد بالشريط الذي يمر بين مصباح كهربائي وخليتين ضوئيتين صفان من الثقوب ، يحتوي احدهما على ثقوب على مسافات متساوية والآخر يحتوي على ثقوب تتغير طبقا لشفرة خاصة . وتقرأ كل خلية صفا من الثقوب . ونتيجة لهذا تولد احدى الخليتين نبضات تزامن تؤلف الايقاع بالنسبة لعمل الآلة ، بينما تولد الخلية الأخرى نبضات طبقا للشفرة التي كانت مستخدمة في تسجيل المسألة وبرنامج الحساب . فعندما يمر جزء غير مثقوب من الشريط أمام الخلية الضوئية ، لا يسقط عليها ضوء وعندما يمر أمامها أحد الثقوب يسقط الضوء عليها لزم ن قصير وتولد نبضة كهربائية ، ويمكننا ان نلاحظ هذه الفكرة عمليا عندما يمر قطار بضاعة بيننا وبين مصباح كهربائي ، اذ نرى ومضات من الضوء فقط عندما تمر الشخرات التي بين العربات أمامنا .

وكما نعرف الآن ، تستخدم الدوائر الحسابية في الآلة النظام الثنائي ، وكذلك باقى الآلة ، ولكن الانسان معتاد على النظام العشري الذي له عدة مزايا في الحسابات المعتادة . لهذا السبب ادخل المصممون في اعتبارهم تمكين عامل التشغيل من تسجيل مادته على الشريط المثقوب بالنظام العشري ، بينما يتم التحويل الى النظام الثنائي أوتوماتيكيا اما في مكنة التثقيب أو بواسطة الآلة الحاسبة الالكترونية نفسها .

ويعتبر جهاز السخل من ابطأ أجهزة الآلة اذ لا يستطيع قراءة أكثر من ٢٠ الى ٤٠٠ رقم في الثانية ، وهذا يعنى انه من غير المفيد اطلاقا التحكم في تشغيل المكنة بالاستعانة بالبطاقات المثقبة مباشرة ، لأنه يستحيل بهذه الطريقة تحميل الوحدات الحسابية ذات السرعة العالية الى أقصى طاقتها ، وهنا يسخر في الميدان جزء هام من أجزاء الآلة ، وهو وحدة الذاكرة .

وبدون وحدة الذاكرة ، يستحيل استغلال المقطرة الجبارة «للأيدي» الكهربائية للآلة وهي الوحدة الحسابية لذاكرة الآلة ، بالإضافة الى هذا ، أن لها أهمية أكبر بكثير من مجرد اسراع التشغيل ، اذ انها هي الجزء الوحيد في الآلة الذي يمكنها من الرصد منطقيا — الأمر الذي كان الى عهد قريب الامتياز الوحيد للانسان — في حل المشاكل مثل اختيار أحسن طريقة للحل أو اختيار النتائج أو ترجمة نص ما الى لغة أخرى .

وتخزن ذاكرة الآلة البرنامج - وهو قائمة الأوامر التي تتحكم في تشغيل الآلة بأكملها - وكذلك البيانات الأولية للمسألة ونتائج الحسابات الوسطى . وكذلك تحتفظ بالنتيجة النهائية الى ان تنقل الى جهاز خرج خاص .

وستتناول جهاز المخرج فيما بعد ، بعد ان ندرس تصميم وحدة الذاكرة .

ليست ذاكرة المكنة ( أو خزانها ) بالشئ الجديد . فمثلا يتذكر الشريط المغناطيسى الأصوات ، وكذلك يخزن الفيلم الفوتوغرافى الصور ، وكذلك تخزن أنابيب أشعة الكاثود المستخدمة فى أجهزة التليفزيون الصور المرسله لجزء من الثانية ، وكذلك يمكن ان يقال ان الكتاب « يتذكر » محتوياته و « ينقلها » الى القارىء .

وفى الحقيقة هناك نوعان من الذاكرة فى الآلة الحاسبة الالكترونية: الذاكرة الداخلية ( أو العاملة ) لاختران البرنامج والنتائج الوسطى المطلوبة للعمليات التالية ، والذاكرة الخارجية وتكون سعتها أكبر . وعادة تحتوى الذاكرة الداخلية على ١٠٢٤ أو ٢٠٤٨ كمية ، وتتكون من مراحل نطاقية تعود الى حالتها الأولى ( « مفتوحة » أو « مقفولة » ) بعد عدد محدد من النبضات لزم من يكفى لحل المسألة أو من أنابيب أشعة كاثود كذلك المستعملة فى التليفزيون . وكذلك توجد أنواع أخرى من الذاكرات العاملة ، الذاكرة ذات الزئبق والذاكرة ذات القلب المغناطيسى .. الخ .

وتسجل الذاكرة الداخلية للآلة الحاسبة طراز بى سى - التى تستخدم أنابيب أشعة الكاثود - الأعداد وتقرأها فى حوالى جزء من مائة ألف جزء من الثانية .

وهذا هو ما يمكن الآلة الحاسبة من ان تعمل بسرعة عالية .

وتعمل الذاكرة الخارجية كاحتياطي للذاكرة الداخلية ولا تشارك فى الحسابات بصفة مباشرة . وتستخدم عادة لتسجيل المغناطيسى على شريط أو اسطوانة بطريقة تشبه تلك المستخدمة فى تسجيل الصوت ذى الشريط . ويمكن للاسطوانة المغناطيسية ان تخزن ٥١٢٠ كمية ، بينما يمكن للشريط ان يخزن ٣٠٠٠٠ كمية . ولا يوجد - عمليا - حده لسعة الذاكرة الخارجية حيث انه يمكن دائما استخدام عدة اسطوانات أو أسطرطة .

وتسجل نبضات الشرارة الثنائية على الشريط المغناطيسى

او الاسطوانة على شكل مناطق متجاورة ممغنطة وغير ممغنطة . وتعتبر  
الاقسام الممغنطة عن الواحد ، بينما تعتبر الاقسام غير الممغنطة عن الصفر .  
وتسجل نبضات التزامن الاضافية بجوار النبضات الشفرية .

ويتم نقل البيانات من الذاكرة الخارجية الى الذاكرة العاملة في  
الآلة طراز بى سى م مثلا بسرعة ٤٠٠ كية في الثانية .

ويقسم جزء الذاكرة من الآلة الحاسبة الالكترونية الى عدد من  
الخلايا تخزن مختلف الكميات . وجميع الخلايا مرقومة ، و « لآخذ »  
اية كمية من الذاكرة ، يجب معرفة رقم الخلية المختزنة فيها .

وينظم جهاز التحكم جميع عمليات الآلة الحاسبة الالكترونية من  
نقل الكميات المختلفة من الذاكرة الى الوحدة الحسابة والقيام بالعمليات  
الحسابية اللازمة ونقل النتائج الى الذاكرة العاملة ونقل الأرقام من  
الذاكرة الخارجية الى الداخلية وبالعكس .

ويعمل جهاز التحكم ، وهو بمثابة القلب للآلة الحاسبة ، حسب  
برنامج يكتبه الانسان .

ويسجل برنامج الآلة الحاسبة وكذلك الظروف الابتدائية للمسألة  
على شريط مثقب ويدخل ذاكرة الآلة الحاسبة الداخلية عن طريق  
جهاز التدخل .

ويتكون البرنامج من مجموعة من الأوامر التي تنقل بدورها من  
الذاكرة العاملة للآلة الحاسبة الى جهاز التحكم . وبوساطتها تضبط  
الأجزاء الأخرى من الآلة الحاسبة حسب الرغبة .

وتتم جميع العمليات آليا بدون تدخل من الانسان ، بل تنفذ الآلة  
نفسها جميع العمليات المسجلة في البرنامج بما فيها جميع عمليات الاختبار  
اللازمة وتسجل النتائج في الذاكرة الخارجية .

ولا يمكن للآلة الحاسبة الالكترونية ان تعمل بدون برنامج  
ولا تحدد جودة البرنامج ما اذا كانت النتيجة النهائية صحيحة فحسب ،  
بل أيضا الزمن الذي تستغرقه الآلة الحاسبة لتعطى الاجابة . وتعتبر  
كتابة البرنامج الجيد مشكلة معقدة تتطلب مهارة رياضية وعقبرية .

والآن يحق لنا ان نتساءل : ما هو هذا البرنامج الذي نتكلم عنه ؟

ان برنامج الآلة الحاسبة الالكترونية يشبه المجموعة من الأوامر  
التي قد يعطيها عالم رياضي لشخص لا يعلم شيئا عن الرياضيات ولكنه

مدرب على تشغيل مكتبة جمع . اذ قد يعطى مثل هذا « الحاسب » ورقة مقسمة الى مربعات تحتوي على الكميات الابتدائية وتعليمات عن كيفية استخدام هذه الكميات وبأى ترتيب وأى العمليات يؤديها بها وأين يكتب النتائج . فمثلا يمكن ان يكون الأمر الخاص بجمع ٣٧ و ٤٨ على هذه الصورة : اجمع ٣٧ و ٤٨ واكتب النتيجة فى السطر الأول من العمود الخامس .

ولتبسيط الأمور ، يمكن ان يحتوى البرنامج على أرقام الخلايا المسجلة فيها الكميات بدلا من الكميات نفسها وبدلا من الكلمات اجمع واطرح واضرب ... الخ تعبيرات شفرية يصطلح عليها . فمثلا : ١ . بدلا من « اجمع » ، ٠٢ بدلا من « اطرح » ... الخ . وبدلا من الكلمات : « فى السطر الأول من العمود الخامس » الرقم ١٥ ( « السطر الأول » و « العمود الخامس » ) بعد الكميات المراد جمعها ، فمثلا اذا كانت الكمية ٣٧ فى الخلية الثانية عشرة والكمية ٤٨ فى الخلية الثالثة عشرة ، فان نفس الأمر السابق يبدو كما يأتى ( من اليسار الى اليمين ) :

خلية النتيجة	خلية الكمية الثانية	خلية الكمية الأولى	العملية
١٥	١٣	١٢	٠١

أو كالآتى اذا أريد كتابة الأمر كعدد واحد : ٠١١٢١٣١٥ ، وبهذا لا يحتاج الحاسب المدرب الى أى علم بالرياضيات ليستطيع قراءة هذا الرقم والحصول على النتيجة ٨٥ بالاستعانة بمكتبة الجمع وكتابتها فى السطر الأول من العمود الخامس من الجدول المعطى له .

وقد كانت هذه الطريقة هى التى اتبعت تقريبا فى حل مشكلة نقل الكتابة الصينية بالتلفراف . فبدلا من اختراع اشارات تلفرافية لآلاف الكلمات المحتوية عليها اللغة الصينية ، كانت هذه الكلمات ترتب فى جداول ، وهكذا يكفى ارسال الأعداد الشفرية الدالة على رقم الجدول والسطر والعمود الموجودة فيه الكلمة .

وهذا يعنى ان من يحصل على هذه الجداول يمكنه ارسال هذه الكلمات واستقبالها حتى ولو لم يعرف معناها .

وبطريقة مشابهة تجهز أعمال الآلات الحاسبة الالكترونية وبرامجها . فتتقب البيانات الأولية والأوامر التى تبين الى أية خلية من

خلايا الذاكرة الداخلية ترسل كل كمية في شريط من الورق • ويتكون البرنامج من مجموعة من الأوامر تبين من أى خلية من خلايا الذاكرة تؤخذ الكمية الأولى والثانية وأى العمليات يتم عليها والى أين ترسل النتيجة • وعند استقبال الأمر التالى من الذاكرة العاملة ، توصل وحدة التحكم خلايا الذاكرة المطلوبة بالوحدة الحسابية وتطلب الأمر التالى من الذاكرة أثناء تنفيذ الأمر الأول •

ولكن ماذا نفعل اذا أردنا اجراء عمليات كثيرة لحل مسألة ما ؟  
فمثلا هل من الضروري تجهيز برنامج مكون من ٢٥٠ مليون أمر للدراسة.  
بيانات المساحة الجيوديسية ؟

مثل هذا الأمر يستغرق أعواما مما يلغى ميزات الآلة الحاصبة  
الإلكترونية ! •

ولحسن الحظ أن الأمر ليس كذلك ، اذ يمكن لغالبية المسائل المعقدة ان تختصر الى مجموعات قصيرة مكررة من العمليات الأولية ( الجمع والطرح والضرب والقسمة ) مرتبة ترتيبا خاصا • وفى هذه الحالة يتطلب حل المسألة تكرارا دوريا لهذه العمليات مع تغيير البيانات الأولية حسب نظام محدد •

ويمكن للآلة أن تقوم بكل هذا أوتوماتيكيا بسرعتها العالية •

وبالرغم من ان حل كل مسألة رياضية يمكن أساسا ان يحول الى تنفيذ متتاليات مقفلة من العمليات الأولية ، فان هذه المتتاليات تكون فى معظم الحالات العملية طويلة نسبيا مما يجعل كتابة البرنامج عملية شاقة للغاية • وهنا يمكن تبسيط كتابة البرنامج تبسيطا كبيرا باستخدام البرامج القياسية ، ومن هذه البرامج استخراج الجذور التربيعية واستخراج اللوغاريتمات وحساب جيوب الزوايا ... الخ ، وتحفظ هذه البرامج مع جميع البرامج التى كتبت من قبل فى مكتبة البرامج • فاذا احتيج الى الحصول على اللوغاريتمات لحل مسألة جديدة مثلا ، لا نحتاج الى تحويل هذه العملية ثانية الى عمليات أولية ولكن نضع برنامج اللوغاريتمات المعروف فى المكان المناسب من البرنامج ، وبمجرد ان تنتهى الآلة الحاسبة من هذا البرنامج الفرعى تستمر فى الحساب حسب البرنامج الرئيسى •

وبالاستعانة بهذه البرامج القياسية المجهزة لحل أكثر المسائل شيوعا ، يمكن تجهيز البرامج لحل أعقد المسائل بإضافات قليلة •

ويمكننا ان نعتبر برنامج « كتابة البرامج » الذى تم فى معهد الميكانيكا الدقيقة وتقنيات الآلات الحاسبة التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية من الأعمال ذات الأهمية الخاصة فى هذا المجال . ويبسط هذا البرنامج عملية كتابة البرامج المعقدة كما يقصر الزمن الذى نحتاجه بدرجة ملحوظة .

ومن السمات ذات الأهمية الخاصة للآلات الحاسبة الالكترونية قدرتها على القيام بالعمليات المنطقية المعقدة نسبيا . ويمكن للوحدة الحسائية ان تقوم بابسط عمليات المقارنة المنطقية التى يمكن اجراؤها عن طريق الطرح ، فاذا كان باقى طرح الكمية أ من الكمية ب صفرا ، فان هذا يعنى ان الكميتين متساويتان . فاذا كان هناك باقى دل هذا على ان أ أكبر من ب ، فاذا لم يكن الطرح ممكنا تبديل الآلة الحاسبة أوتوماتيكيا مكانى الكميتين وبعد الحصول على الباقى تعطى الإجابة ان ب أكبر من أ .

وباستخدام نتائج المقارنة يمكن للآلة أن تختار أيا من عدة طرق (★) لاستمرار الحل اذا كان ذلك ضمن البرنامج . فمثلا يمكن أن يحتوى البرنامج على أمر بعلم الاستمرار فى الحساب اذا تساوى أ و ب أو الاستمرار اذا كان أ أكبر من ب ، أو بالرجوع الى البداية مع تغيير الظروف الابتدائية اذا كان ب أكبر من أ .

وبهذه الطريقة يمكن ان تقوم الآلة الحاسبة بالحسابات المعقدة لتصميم الكبارى والطائرات والسفن ، كما يمكنها ان تنتقى أحسن نموذج من نماذج التصميم ، أى تقوم بعملية الانتقاء المنطقية وذلك بتقييم النتائج من وجهة نظر خاصة معينة ( مثل أقل وزن بالنسبة لقوة معينة ) .

وبوساطة هذا الاختبار ، يمكن للآلة الحاسبة أيضا ان تحلل معنى الكلمات المختلفة عند القيام بالترجمة من لغة الى أخرى . ونضرب هنا مثلا مفتعلا الى حد ما : يختلف معنى الكلمة الانجليزية المقابلة لكلمة « يفرغ » اختلافا بينا حسب ما اذا كانت الكلمة التى بعدها « عمل » أو

---

(★) هى فى الواقع ثلاث طرق لأن عدد الحالات ثلاث . أما  $1 = ب$  أو أكبر أو أقل . وفى كثير من الأحيان تختصر هذه الطرق الى اثنتين فيقال مثلا : اذا كان  $1 = ب$  يسير الحل فى هذا الطريق والا فى الطريق الآخر - المترجم .

« عامل » • وتحليل الكلمة التي تلى « يفرغ » تنتقى الآلة اوتوماتيكيا المعنى « يقوم بـ » أو « يطرده » (★) • وسنتناول هذا الموضوع بتفصيل أكثر فيما بعد •

ويمكن للآلات الحاسبة ان تقوم بعمليات منطقية أكثر تعقيدا ، مثل العمليات من نوع « و - و » أى تقوم بعملية معينة فقط اذا كانت خليتان معينتان من خلايا الذاكرة مشغولتين فى وقت واحد والعمليات من نوع « لا - لا » أى تقوم بالعملية فقط اذا كانت الخليتان فارغتين فى وقت واحد ، وكذلك الكثير من العمليات المنطقية الأكثر تعقيدا والتي تتكون من مجموعات من العمليات المنطقية الأولية •

وبهذا نكون قد درسنا المراحل الأولى فى تشغيل الآلة الحاسبة ، وهى باختصار : تدخل الظروف الابتدائية للمسألة وبرنامج حلها الى دائرة الدخل بواسطة شريط مثقب ، ثم تنتقل الى الذاكرة العاملة ثم تبدأ الآلة الحاسبة فى الحساب •

وبانتهاء البرنامج ، تفقد نتائج الحساب الى الذاكرة الخارجية •

ثم يبدأ جهاز الخرج فى تسجيل النتائج على فيلم حساس ( جهاز الخرج الفوتوغرافى ) أو على شريط من الورق على شكل جداول معولة الى النظام العشري ، وهذا الجهاز ابطا مكونات الآلة الحاسبة • وتصل سرعة آلة المخرج الى ٢٠٠ رقم فى الثانية ، بينما تصل سرعة آلة المخرج للكتابة الميكانيكية الكهربائية والتي تستخدم غالبا الى ١٥ رقما فى الثانية •

وهنا يحق لنا أن نسأل : هل هناك ثقة مطلقة فى صحة نتائج الحسابات ؟ لا بد وان هناك فرصة للأعطال ( مثل احتراق صمام ) فى مثل هذه الدوائر شديدة التعقيد مما يسبب أخطاء •

والاجابة على هذا السؤال : ان مثل هذه الحوادث قد وضعت فى الحسبان ، ولهذا يجب أن يحتوى البرنامج على أمر للاختبار ، وأبسط هذه الأوامر : « اعد جميع الحسابات وقارن النتائج » ، وهذه الطريقة • يستخدمها كل من أطفال المدارس والحاسبين ذوى الخبرة على حد سواء ، وهى مفيدة فى الحسابات البسيطة ولكنها لا تصلح للحالات المعقدة ، إذ لا يمكن اعتبار العثور على خطأ بعد تشغيل الآلة الحاسبة لمدة عشرين

---

(★) المانى هنا للكلمات الانجليزية المستخدمة فى النص الانجليزى للكتاب.  
على الترتيب - للترجم •

ساعة واكتشاف انه حدث منذ البداية طريقة اقتصادية . ولهذا السبب فان هناك طرقا أكثر استخداما فمثلا توقف الحسابات الجارية ثم تقوم الآلة الحاسبة بأجراء عملية حسابية خاصة للاختبار تستخدم جميع وحداتها ومكوناتها ونتيجتها معروفة ، فإذا كانت النتيجة صحيحة دل هذا على عدم وجود اعطال بالآلة الحاسبة .

وهناك طرق أخرى أيضا مثل اجراء العمليات المتوسطة بترتيب مختلف أو استخدام طرق أكثر تعقيدا للاختبار المنطقي ، فمثلا عند حساب مربع قطر مستطيل ، يحسب مجموع مربعى ضلعيه بعملية مستقلة ، ثم تقارن النتيجةان ( من الواضح أن الطريقة المقصودة في البرنامج هي باستخدام نظرية فيثاغورس ) .

وجدير بالذكر ان اختبار تشغيل الآلة الحاسبة يضاعف تقريبا من زمن الحساب .

والصيانة المانعة الدورية لمعدات الآلة الحاسبة توفر في زمن التشغيل الى درجة كبيرة ، ولكنها عملية لا يمكن الاستغناء عنها لضمان الثقة في صحة تشغيل مثل هذه الأجهزة المعقدة .

ويجب ملاحظة أن جميع العمليات التي تحدث في الطبيعة تقريبا يمكن التعبير عنها رياضيا بمعادلات ، اذ تحكم القوانين التي يمكن تقييمها كميًا في مختلف الظواهر الميكانيكية والكهربائية والحرارية وحتى الظواهر الفسيولوجية . وحتى تلك العمليات المتعلقة بالنشاط العصبي والعقلي ثلاثسان يمكن وصفها رياضيا من نواح معينة . وهذا دليل آخر على أن حدود استخدام الآلة الحاسبة الالكترونية تتراجع بانتظام مما يجعلها تشتمل على دائرة من الموضوعات تتسع باستمرار .

وبالإضافة الى الآلات الحاسبة الرقمية التي ذكرناها ، هناك مجموعة كبيرة من الآلات الحاسبة الالكترونية بالقياس ، فبينما تعمل الآلات الحاسبة الالكترونية الرقمية بالأرقام ، أى بقيم تتغير على خطوات ، نجد أن الآلات الحاسبة بالقياس تتناول القيم الرياضية على شكل قيم متغيرة تغيرا مستمرا مثل فلتية تيار كهربائي . ومثل هذه الآلات لا تعطى نتائج بالأرقام وانما ترسم في الحال منحى للقيمة الجارى دراستها في اعتمادها على الظروف المختلفة .

وحتى تتمكن الآلة الالكترونية الحاسبة بالقياس من أن تدرس أية عملية يجب أن تصاغ هذه العملية على هيئة مجموعة من المعادلات الرياضية . ثم يمثل كل ثابت أو متغير في هذه المعادلات في الآلة



الحاسبة بقيمة مناظرة له تماماً مثل الفلطيبة بين نقطتين معينتين في الدائرة ، وبهذه الطريقة تكون داخل الآلة الحاسبة بالقياس نفس العلاقات بين مستويات الفلطيبة كما هي بين القيم الرياضية الموجودة في مجموعة المعادلات ، أو بعبارة أخرى تحاكي الآلة العملية تحت البحث .

ويمكن للقياس الإلكتروني ان يستخدم مثلاً في دراسة تسرب الماء تحت السد في محطة كهربائية مائية بحيث يولد منحني يبين العلاقة بين كمية التسرب والزمن . وفي الطيران ، يستخدم القياس الإلكتروني الذي يحاكي طيران الطائرة بحيث يمكن اختبار الأنواع الجديدة من الطائرات حتى قبل صنعها . ويمكننا ان نذكر على سبيل المثال الآلة الإلكترونية البريطانية « الترايداك » ، فبالاستعانة بهذه الآلة يمكن تعريض الطائرة التي صممت ولم تصنع بعد لمختلف الاختبارات بما فيها العواصف وتساقط الثلج وحتى الحوادث . وتسجل نتائج الاختبار على شكل منحني لطيران الطائرة . وبالإضافة الى هذا يمكن مشاهدة عمليات الطيران وذلك بمراقبة حركة مجموعة من المؤشرات تحاكي حركة الطائرة في مختلف المستويات . ويمكن للترايداك ان تحاكي طيران صاروخ أو تدرس معركة بين طائرتين لاكتشاف قدرتهما على المناورات وذلك للمساعدة على اختيار أحسن تكتيك للمعركة . اما الآلة الحاسبة بالقياس طراز م ه - ٨ السوفيتية فهي أكثر عموماً ، اذ يمكنها محاكاة طيران سفينة فضاء واطهار التفاعل بين شيتين أو بين عمليتين معقدتين تعتمدان على مجموعة كبيرة من التغيرات ، كما يمكنها بيان تكون الجبال في المستقبل . وكثير من الأشياء الأخرى . وتساعد الآلات الحاسبة بالقياس على اختبار عدد كبير من المكتبات من جميع الأنواع من الطائرات الى المحطات الكهربائية المائية بدون تحمل تكاليف انشائها .

وسنتناول الآن بعض الآلات الحاسبة الإلكترونية التي تصنع في الاتحاد السوفيتي والدول الأخرى . ولقد وجه أخيراً الكثير من الانتباه نحو ميكنة العمل المكتبي ، اذ أن هذا النوع من العمل من أكثر الأعمال ارهاقاً للنشاط الذهني الآدمي ومن أكثرها مللاً . وتتضمن هذه الأعمال امساك الدفاتر والعمليات المصرفية والحسابات الاقتصادية المختلفة وعمليات التخطيط والحاسبة ... الخ . وتحكم في هذه العمليات مجموعة من القواعد القياسية التي يمكن تحويلها بسهولة الى برنامج للآلة الحاسبة الإلكترونية . ونذكر على سبيل المثال للآلات الحاسبة الإلكترونية المصممة للمساعدة في وضع برامج الانتاج وعمليات التخطيط والأعمال المكتبية الأخرى المكتبتين أ ب م - ٦٥٠ و د المون

روبووت » . وتستخدم المكنة طراز أ ب م - ٦٥٠ مثلا فى الحسابات الاحصائية لمبالغ التأمين المرتبطة بحوادث النقل . وتصنع شركة « رمنجتون راند » الامريكية الآلة الحاسبة الالكترونية « يونيغاك » التى يمكنها القيام بعمل عدة مئات من الموظفين الكتابيين . فتحسب مرتبات ١٢٠٠٠ عامل بالمصنع مع حساب العمل الاضافى والخصومات وتطبع اوتوماتيكيا استمارات المرتبات ، وتمسك سجل بطاقات توزيع العمل ، وتمسك حسابات البضائع وتحسب التكاليف الكلية للانتاج وعملياته . وتذكر الشركة المنتجة انه يمكن استخدام هذه الآلة لتخطيط تمويل المواد الخام ولاختبار متحنيات الخرج ، وكذلك تمسك حساب العرض والطلب . وقد صنعت قريبا الآلة الحاسبة الالكترونية داتاماتيك - ١٠٠٠ ويمكنها القيام بالعمليات التالية : تحسب المدفوعات وتكتب الفواتير وتضع قوائم العملاء وعناوينهم وتراجع كمية البضائع الموجودة فى المخازن ... الخ ، وتخزن ذاكرة هذه الآلة ٢٠٠٠ كلمة .

تبيع احدى شركات شيكاغو ٨٠٠٠ سلعة مختلفة فى انحاء البلاد ، ولمسك حسابات كل هذه البضائع ، كانت الشركة تستخدم مائة محاسب يعملون على ماكينات الجمع ذات الأزرار . وفى سنة ١٩٥٤ حصلت الشركة على آلة حاسبة الكترونية يمكنها القيام بكل هذا العمل وحدها . فكانت تعد كل ليلة ايصالات النهار وتؤدي الحسابات الاخرى التى كانت تؤدي من قبل فى اسبوعين .

ويجب ان نذكر هنا أيضا بعض الآلات الحاسبة الالكترونية البريطانية المصممة للأعمال المحاسبية ، مثل « الليو » ، وهذه الآلة تضع قوائم مرتبات ١٠٠٠٠ عامل وتمسك حسابات ١٥٠ بوفيه فى لندن . وتحتاج هذه الآلة الى ساعة لاتمام قوائم مرتبات ١٧٠٠ عامل . وتوزع الآلة الحاسبة طراز اليوت - ٤٠٢ أوامر المخابز وصلات الأكل وتمسكها وتحسب مقدار العمل الذى ينتجه ٨٠٠ فرع . وتسجل الآلة الحاسبة الالكترونية ايرما - ١ جميع معاملات البنك مع مسك حساب الدخل الكلى والنفقات ، كما تفرز الشيكات والايصالات بمعدل عشرة فى الثانية .

ومن المتوقع ان يظهر فى الاعوام القليلة القادمة نوع جديد من الآلات الحاسبة الالكترونية التى تحل تماما محل المحاسبين فى الشركات الصغيرة .

وقد قامت شركة راديو كوربوريشن اوف اميريكا بصناعة آلة

حاسبة لخدمة قواعد الدبابات فى الولايات المتحدة ، وهى تراجع قطع غيار المركبات الحربية وتستبدلها ، ويمكنها ان تعرف فى دقائق الكمية المطلوبة من أى نوع من أنواع قطع الغيار ، كما يمكنها أيضا ان « تتنبأ » بالاحتياجات المستقبلية منها • وتخزن ذاكرتها ٢٠٠ ٠٠٠ اسم لقطع الغيار من المسامير الى المحركات الكاملة •

وقد بدأ استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية فى المكاتب الصحفية لطبع اسماء المشتركين فى مطبوعات ، يصل توزيعها الى ملايين من النسخ ، وعناوينهم أوتوماتيكيا ولأغراض أخرى مختلفة •

ويجب أن نذكر هنا أيضا آلة حاسبة الكترونية مشهورة أخرى تسمى « مانياك » ، وتتنبأ هذه الآلة بالأحوال الجوية ، اذ تحل هذه الآلة مجموعات معقدة من المعادلات التى تتناول تحركات الكتل الهوائية مع كمية هائلة من البيانات التى تتلقاها من شبكة ضخمة من المحطات الميتورولوجية فى ساعة واحدة لتتنبأ بالأحوال الجوية لليوم التالى • وتحل هذه الآلة محل جيش مكون من ٦٤ ٠٠٠ حاسب مزودين بماكينات الجمع الأوتوماتيكية ذات الملفات •

وقد أصبحت الآلات الحاسبة الالكترونية وسيلة قوية من وسائل البحث العلمى فى الاتحاد السوفيتى • وتحل الآلات الحاسبة الالكترونية مثل الآلة بى سى م التى صممت تحت إشراف الأكاديمى س. أ. ليبيديف عددا كبيرا من المسائل الرياضية والمنطقية ، وهذه الآلة لا تقل بأى حال عن أحسن آلة أوروبية ، وكذلك الآلات مثل الستريلا التى صممت تحت إشراف بطل العمل الاشتراكى ي. ي. بازيليفسكى ، والآلة م - ٢ و كرسيتال و باجسودا و اورال ، م س م ، ي ز وكثير من الآلات الأخرى • وفى الفترة من ١٩٥٠ الى ١٩٥٥ صممت الآلات الحاسبة الالكترونية المتخصصة طرازى م - ٥ ، ي م - ٧ ، ي م - ٨ لحل مسائل الاستغلال السليم لطبقات زيت البترول ، كما صممت الآلة الالكترونية الحاسبة بالقياس طرازى م - ٦ لحساب قوة الأساسات وكتل الإنشاء ، كما تستخدم الآلات الحاسبة الالكترونية فى حل المسائل النظرية الخاصة باطلاق المدافع ، والرجوعية والذبذباب ، والديناميكا الهوائية ، والقذائف ، ومرور الجسيمات فى المواد وكثير من المسائل الأخرى • وتصمم الآن الآلات الحاسبة الالكترونية لتجميع المعلومات عن موضوع معين مع حصر أسماء الكتب المكتوبة فيه ، وتحليل نتائج احصاء السكان ، وتخطيط الانتاج والتمويل على مستوى الدولة ( وهو عمل اعقد بكثير

من تخطيط الانتاج لمشروع واحد من فروع الصناعة كما في الدول  
الأخرى ) .

وستتناول الآن استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية في السكة الحديد .  
فلوضع جداول القطارات ومشاريع خطوط السكة الحديد وتصميم الأنواع  
الجديدة من القاطرات ، يجب اجراء حسابات خاصة بالجر والحرارة ،  
وتحديد استهلاك القدرة الكهربائية واستغلال الشغل الميكانيكي . ونظرا  
لضخامة حجم هذه الحسابات ، فقد جرت العادة على تبسيطها ، الأمر  
الذى لم يكن يؤدى الا الى الاقلال من دقتها . وقد انتجت الصناعة  
السوفيتية في سنة ١٩٥٤ الآلة الالكترونية الحاسبة بالقياس طراز  
١ ت س - ١ لحسابات الجر . والآلة طراز ١ ت س - ٢ في سنة ١٩٥٦  
للحسابات الحرارية . وتعطى سرعة الآلات الحاسبة الالكترونية الفائقة  
أسبابا للأمل في امكان التحكم في القطارات آليا بالاستعانة بها . وكذلك  
تشغيل مسطحات التحريك - حيث يغير اتجاه القطارات - تشغيل  
أوتوماتيكيا كاملا . ويمكن تبسيط عمل مساحات التحريك اذا صممت  
آلات حاسبة الكترونية تستطيع أن تختزن في ذاكرتها المعلومات عن مكان  
كل عربة في كل لحظة . ويمكننا هذا من معرفة عدد العربات في مختلف  
انحاء الدولة واعادتها للحريك في وقت قصير وتوزيع العربات والقطارات  
بأحسن نظام ممكن .

وقد سخرت الآلات الحاسبة الالكترونية في الدول الأخرى للقيام  
ببعض الألعاب بقصد الاعلان ، مثل الشطرنج والضامة وغيرها ، وكذلك  
نشر وكتابة مؤلفات بمعنى الكلمة ، وتأليف الموسيقى ! فقد نشرت  
المصحفة البريطانية « ستار » في عددها الصادر في ١٠ أغسطس سنة  
١٩٥٦ الخبر الطريف التالي : « عقل الانسان الآلى يؤلف موسيقى » ،  
وضمت الآلة الحاسبة الالكترونية بجامعة الينوى ( الولايات المتحدة  
الامريكية ) متتابعة كلاسيكية من ثلاثة اجزاء للرباعي الوترى . ومن  
المنتظر ان يتم اول عزف لمتتابعة « الياك » هذه والتي ألغتها هذه الآلة  
الحاسبة الالكترونية ذات السرعة العالية في شامبين بولاية الينوى .  
وبالطبع لن ينتظر أحد نظرة جديده الى كتابة القوانين الكلاسيكية للتأليف  
الموسيقى بشفرة رياضية ( بالرغم من أن هذا ممكن من حيث المبدأ ) ثم  
تقويض آلة في القيام بعملية التأليف الموسيقى الخلاقة . ولكن استخدام  
الآلات الحاسبة الالكترونية في لعب الشطرنج وباقي الألعاب المشابهة  
أمر مختلف تماما ، اذ وجد ان المجهود الذى يبذل في تشغيل مثل هذه  
الآلات في هذا الميدان وكتابة البرامج اللازمة لها له علاقة وثيقة بطوير

مجموعة كبيرة من مكنات التحكم اللازمة فى الاغراض الصناعية والحربية .

ولكن يحق لنا الآن ان نتساءل : كيف يمكننا ان نجعل آلة تقوم بمثل هذه العمليات الخلاقة مثل لعب الشطرنج ؟ فى الواقع تحكم مثل هذه اللعبة قوانين صارمة يمكن ان يعالجها برنامج الآلة انحاسية . وأهم خطوة هنا هى « تعليم » الآلة الحاسبة كيفية اختيار أو حساب احسن حركة ( من بين عدد كبير من الحركات الممكنة ) مع اعتبار القواعد الأساسية للعبة . ولما كانت الآلات الحاسبة الرقمية لا تتكلم الا لغة الأرقام ، فانه من المناسب جدا تقدير قطع الشطرنج والأماكن المختلفة على الرقمة بالنقط ، فمثلا يقدر الملك ب ٢٠٠ نقطة والوزير ب ٩ نقط والطاوية ب ٥ والفيل ب ٥٠ والفرس ب ٣٠ وهكذا . ونظرا لقدرة الآلة على تقدير « ميزة » كل حركة عن طريق حساب عدة حركات ممكنة مقدما ، فانها تستطيع اختيار الحركة « المثلى » وتهزم دائما أى خصم لا يستطيع تقدير عدد مناو من الحركات مقدما كما تفعل الآلة . وكلما زاد عدد الحركات التى يمكنها حسابها زادت فرصتها فى الكسب . ويعتبر تحديد الحل « الأمثل » من الأمور ذات الأهمية العظمى فى تشغيل مكنات التحكم التى سنتكلم عنها فيما بعد .

وتأخذ عملية « تعليم » الآلة الشكل الآتى : لنفترض ان الآلة لا « تعرف » فى بداية لعبها للشطرنج الا معلومات سطحية عن استراتيجية اللعبة ومعلومات ناقصة جدا عن سماتها المميزة ، فمثلا لا تعرف الا القواعد الأساسية للعبة وبعض القوانين التاكتيكية والطرق اللازمة لتحسينها . وهذا هو الأهم - أى أسس « تعلمها » فى أثناء اللعب .

ثم تبدأ الآلة فى تحسين نفسها وزيادة « معلوماتها » بالطرق الآتية : اما أن تقوم بحركات تجريبية وتذكر النتائج المفيدة وتمحو النتائج غير المفيدة ، أو أنها تقلد خصما أقوى منها ، أو تحصل على المعلومات اللازمة من الخارج مثل مراقب خارجي أو « معلم » يدخل فى البداية أوامر لكل حركة تالية على برنامج أوامر الآلة وهو بهذا يقاسم الآلة خبرته ، أو أن تقوم الآلة نفسها بتحليل أخطائها وسير اللعب عموما بفرض افتقان الأسس التاكتيكية العامة للعبة .

وحتى تستطيع الآلة أن تؤدى مثل هذا التحليل وتحسن « استراتيجيتها » وتغير « طريقة » لعبها ، يجب أن يحتوى برنامج

الآلة على ما يمكنها من أن تدخل في اعتبارها « خبرتها » التي اكتسبتها من الألعاب السابقة وتستجيب للتعليمات الخارجية .

وبالطبع ليس استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية في لعب الشطرنج وإضافة والنرد والورق وباقي الألعاب المشابهة ووسيع البرامج لتحسين استراتيجية اللعب ذاتيا هدفا في حد ذاته . بل ان تصميم الآلات « المتعلمة » ووضع البرامج التي تمكنها من تحسين نفسها ذاتيا ان ذلك يساعد الانسان على توسيع امكانيات الآلات الحاسبة الالكترونية . وستصبح مثل هذه الآلات ذات قيمة اقتصادية كبرى في المستقبل . كما أن الحصول على القيمة « المثل » يعتبر عملية أساسية بالنسبة لمكتات التحكم التي سنتناولها فيما بعد .

ويوما بعد يوم ، تتقدم حدود استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية الى الأمام ، وتحسن التصميمات ، وتظهر أنواع أكمل وأحدث ، وقد تفلقت هذه الآلات بالفعل في تلك الميادين مثل الفيزياء النووية واللاسلكي والالكترونيات والكيمياء والبيولوجيا ، كما تستخدم للقيام بعمليات هامة في التحكم الذاتي وأجهزة التنظيم ، وفي ميكنة عمليات التحكم في الهيئات الصناعية والبلدية والإدارية .

ومن المتوقع ظهور آلات حاسبة الكترونية أكثر اقتصادا وأصغر حجما وأكثر عولا وتستطيع القيام بعمليات جمع وطرح تصل الى ١٠٠٠٠٠ في الثانية في المستقبل القريب .

## الصمامات تترجم

بعد ظهور أولى الآلات الالكترونية الحاسبة بقليل ، فتح أمامها ذلك الباب المغري وهو استخدامها في الترجمة من لغة الى أخرى . فال معروف ان أية لغة تحكمها قواعد محددة من الاشتقاقات اللفظية وقواعد اللغة . وتتم الترجمة من لغة الى أخرى طبقا لقواعد محددة يمكن وضعها على شكل برنامج لآلة حاسبة الكترونية رقمية . والجملة الآتية التي قالها العالم الأمريكي ويفر من أهم ما قيل في هذا المجال : « ان أي مكتوب باللغة الصينية ما هو الا كتاب باللغة الانجليزية مكتوب بشفرة صينية » . وهذه العبارة تؤكد تجانس عمليات الفكر الانساني . اذ ان جوهر هذه العملية لا يعتمد على اللغة أو الحروف المستخدمة في التعبير

عن فكرة معينة . وهذا هو الأساس الذى يجعل تسخير الآلة الحاسبة فى الترجمة ممكنا .

وحتى الآن لا يمكن للآلات الحاسبة الالكترونية الموجودة القيام بترجمة كتاب أو مخطوط مباشرة ، لأن لغة الآلات الحاسبة هى الأرقام . ولهذا يجب أولا ان يستبدل النص الحرفى بنص رقمى بطريقة تشبه تلك المستخدمة فى نقل التلغرافات بجهاز بودو . ففى هذا الجهاز يستبدل كل حرف من حروف الرسالة بمجموعة مكونة من رقمين . وبهذا تمثل كل كلمة من الرسالة برقم معين .

ولاستخدام الآلة الحاسبة الالكترونية الرقمية فى الترجمة الآلية ، وضع الخبراء قاموسا استبدلت فيه الكلمات بأرقام منظرية . ويتكون القاموس من جزئين ، انجليزى وروسى مثلا . ويدخل القاموس والبرنامج الى ذاكرة الآلة بحيث يمكن العثور على كل كلمة من كلمات القاموس تحت رقم معين .

فاذا كان هناك معنى واحد لكل كلمة من كلمات النص المراد ترجمته فى اللغة الأخرى وكان ترتيب الكلمات فى اللفتين واحدا ، يمكن أن تتم الترجمة الآلية كما يلى : عند قراءة كلمة باللغة الانجليزية مثلا ( أو بمعنى أدق رقما المناظر ) ، تقارن الآلة هذه الكلمة بكل الكلمات الانجليزية ( أو أرقامها المناظرة ) المخزنة فى القاموس الانجليزى ، ثم تبحث ( بطرح أحد الرقمين من الآخر للحصول على الصفر ) عن الكلمة الصحيحة وتذكر رقم خلية الذاكرة التى بها الكلمة الروسية المناظرة لها . وبهذه الطريقة يطبع جهاز الخرج فى الآلة الحاسبة أوتوماتيكيا الكلمات الروسية التى تكون الجملة المترجمة .

ولكن الأمور أعقد من هذا بكثير فى الواقع ، اذ يختلف ترتيب الكلمات فى معظم اللغات اختلافا بينا ، وبالإضافة الى ذلك قد يتغير معنى الكلمة الواحدة حسب وضعها فى الجملة واستخدامها مع الكلمات المجاورة لها . وكما يستخدم الانسان كثيرا فى لغته اليومية كلمات مختلفة للتعبير عن نفس الشيء ، فان الكلمة الواحدة كثيرا ما يكون لها عدة معان ، وعند الترجمة من لغة الى أخرى نادرا ما يمكن الترجمة كلمة بكلمة اذ تحكم تركيب الجملة فى كل لغة قواعد محددة ، كما ان بعض الكلمات لا معنى لها فى ذاتها ولا تمكن ترجمتها منفردة بأية حال من الأحوال . ولهذا السبب لا يمكن للآلة أن تقارن ببساطة كلمة بأخرى بل يجب أيضا أن تقوم بمعد من العمليات المعقدة الأخرى . فمثلا اذا كان

لكلمة ما عدة مترادفات في لغة أخرى ، يجب أن تفتقي الآلة الحاسبة المعنى الصحيح بحيث تدخل في اعتبارها معنى الجملة ، وبالإضافة إلى هذا يجب أن تقوم الآلة الحاسبة عند استبدال كلمات لغة ما بكلمات لغة أخرى أن ترتب الكلمات المترجمة ترتيباً صحيحاً في جملة سليمة من حيث قواعد اللغة .

ولما كانت الآلة الحاسبة لا تعقل ، فإنها لا تستطيع بالتالي تحليل معنى الكلمة من معنى الجملة ، إذ أنها لا تستطيع إلا القيام بتحليل إلى بالاستعانة بالقوانين القياسية التي وضعها الإنسان أولاً ثم غذيت للآلة على شكل برنامج تحليل . وكل هذا يعقد البرنامج إذ يحتوي على عدد من الأوامر أكبر بكثير من البرامج الموضوعة لحل كثير من المسائل الرياضية . ونتيجة لهذا مازالت امكانية الترجمة بالآلة الحاسبة الالكترونية محدودة جداً .

وقد تكون المناسبة الآن مواتية لذكر بعض الاحصائيات ، فمثلاً تحتوي اللغة الالمانية الحديثة على حوالي ٤٠٠.٠٠٠ كلمة ، وهذا بالطبع أكبر من مقدرة ذاكرات الآلات الحاسبة الالكترونية الحالية (١) ، ولكن لحسن الحظ تستخدم ٥٠٠٠ كلمة فقط في تسعة اعشار الحديث ، وهذه كمية يمكن اختزانها في ذاكرة الآلات المخصصة للترجمة . ويكفي لترجمة نص فني باللغة الانجليزية تخزين قاموس يحتوي على ١٠٠٠ كلمة عامة و ١٠٠٠ مصطلح فني .

وهذا يعني أنه بالرغم من أن الوقت مازال مبكراً جداً للكلام عن ترجمة القصص ، فإن ترجمة الكتابات الفنية وفقرات الأنباء ... الخ تعتبر مشكلة الوقت الحاضر ، إذ أن ترجمة القصص ليست صعبة بسبب الحجم الهائل من الكلمات فحسب بل أيضاً لأن القصص تمتلئ بتمميزات تتعلق بحياة الناس وقد لا تعنى شيئاً إذا ترجمت آلياً ، وفي مثل هذه الحالات لا يستطيع المترجم أن يترجم حرفياً بل يجب أن يصيغها في عبارة تحافظ على المعنى المطلوب ، ولا شك في أن مثل هذه الترجمة لا يمكن أن تتم آلياً .

وحتى الآن مازالت الترجمة بالآلات الحاسبة الالكترونية في مرحلة الاستكشاف ، إذ لم تتم سوى الخطوات الأولى في هذا الاتجاه . ولم يحاول العلماء إلا ترجمة نصوص فنية قصيرة . وقد تم أول بيان عمل

---

(١) بعد كتابة هذا الكلام ظهرت آلات حاسبة يمكن لذاكرتها أن تخزن حتى ٨ ملايين رقم - للترجم .



للترجمة من الروسية الى الانجليزية باستخدام الآلة الحاسبة الالكترونية طراز أ ب م - ٧٠١ فى نيويورك سنة ١٩٥٤ . ولم يحتو قاموس هذه الآلة على أكثر من ٢٥٠ كلمة روسية فى مجالات السياسة والقانون والرياضة والكيمياء والعلوم السياسية ٠٠٠ الخ ، ولهذا السبب كان لزاما أن تصاغ الجمل المراد ترجمتها بحيث لا تحتوى الا على الكلمات الموجودة فى القاموس . وحتى تكون الترجمة صحيحة ، وضعت ست قواعد للاعراب فى ذاكرة الآلة .

وقد جرى بيان عملي للترجمة من الانجليزية الى الروسية باستخدام الآلة طراز بى سى م فى موسكو سنة ١٩٥٥ . وقد احتوى قاموس الترجمة الأوتوماتيكية على ٩٥٢ كلمة انجليزية و ١٠٧٣ كلمة روسية وكان القصد منه ترجمة نص رياضى . وقد وجد ان الآلة لم تستطع القيام بترجمة مرضية لجمل مصاغة صياغة خاصة فحسب بل ايضا للمقتطفات كاملة من كتب فى الرياضة . كما امكنها ترجمة فقرة من انباء عن مؤتمر فى الرياضة ولكنها مرت فى هذه التجربة بكلمات ليست فى القاموس . وبالطبع لم تستطع ترجمتها فطمعتها بلغتها الأصلية .

وقد ادخل الكثير من التحسينات على عملية الترجمة الآلية . اذ تم بالفعل القيام بالترجمة من لغة الى عدة لغات أخرى فى وقت واحد . وقد ساعد على تسهيل الترجمة الى عدة لغات فى وقت واحد ، أن غالبية العمل الشاق الخاص بتحليل النص الاصلى لا يتم الا مرة واحدة تقوم الآلة بعدها بصياغة الجمل المترجمة بلغات مختلفة ، فاذا كانت صياغة جملة مترجمة قد تمت باللغة الروسية مثلا فانه يمكن استغلال نسبة لا بأس بها من العمل الذى تم باللغة الروسية فى صياغة نفس الجملة بلغات أخرى . وبهذا يمكن باستخدام اللغة الروسية كلفة رئيسية او لغة وسيطة تبسيط الترجمة الى اللغات الأخرى تبسيطا كبيرا . وتستخدم فى الترجمة الآلية من الصينية او اليابانية الرموز التلفرافية الصينية .

وهناك من الأسباب ما يجعل البعض يعتقد انه سوف تصمم فى المستقبل القريب آلات يمكنها أن تتلقى كتابا مطبوعا بأية لغة فتترجمه وتطبع الترجمة بسرعة فائقة .

ويحق لنا ان نتساءل الآن عن الأسباب التى تحولنا الى ان نتصور مثل هذا التطوير فى عملية الترجمة الآلية ، بينما نرى الآلات الالكترونية الموجودة لاستطيع الا ترجمة نصوص فنية وبسرعة منخفضة جدا ، كما لا توجد الآن الذاكرة التى يمكنها استيعاب الحجم المطلوب من المادة بحيث

تضمن في نفس الوقت العثور على الكلمة اللازمة بسرعة • فمثلا نجد ان سعة الشريط المغناطيسي هائلة ولكن سرعته منخفضة • اذ للعثور على التسجيل المطلوب على الشريط يجب ادارة عدة أمتار منه ، الأمر الذي يستغرق وقتا لا بأس به ، بينما نجد أن التسجيلات التي تتم بوساطة انبوب أشعة المهبط عالية السرعة ولكن سعتها محدودة جدا •

وقد حلت هذه المشكلة بوساطة وسائل جديدة للتخزين صممت في معمل النماذج الالكترونية التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية • ولا تحتوي هذه الوسائل على أجزاء متحركة يعكس الوسائل المغناطيسية الحالية ، ولهذا فهي لا تبلى ، وهذا يعني ان مثل هذه الذاكرات يمكنها ان تعمل لمدة طويلة جدا ويمكنها أن تحتزن المعلومات الى ٥٠ أو مائة عام • وفي نفس الوقت تستطيع هذه الأجهزة أن تسجل أربعة ملايين صفحة من الصفحات المتعاقبة أو تقرأها في ساعة واحدة • وبمباراة أخرى تستطيع الآلة ان تمر على محتويات مكتبة بها ١٠٠٠٠ مجلد ضخيم في ساعة واحدة •

وتصنع عناصر هذه الذاكرة الجديدة على شكل الواح من مادة عازلة تطبع عليها - باستخدام طلاء خاص - شبكة موصلة وعناصر حادة او معيوية أو مقاومة ، وتجمع مثل هذه الألواح في مجموعات وتوصل الواحدة منها بالآخرى أو بالنواثر المختلفة في الآلة الحاسبة الالكترونية بموصلات عادية •

ومن أهم ما يلاحظ بالنسبة لهذه الطريقة أنها تحتاج الى مكان أصغر بكثير من الذاكرات الحالية ، كما تستهلك قدرة أقل بالنسبة لنفس الحجم من المادة المسجلة • وتخيل مكنته تستطيع ترجمة الحديث مباشرة ، اذا ظهرت الحسابات أن يمثل هذه السرعة العالية تستطيع الآلة الحاسبة الالكترونية ان تترجم المحادثات بين عشرة ازواج من المتحدثين اوائى عشر في وقت واحد ( يتحدثون بسرعة متوسطة قدرها حوالى ٢٠ حرفا في الثانية ) • وفي هذه الحالة تعمل المكنته كما لو كانت أستاذًا في الشطرنج يلعب على عدة رقاع في وقت واحد ، اذ تتذكر الجمل التي ينطق بها جميع المتحدثين وترجمهما بسرعة تجعل الزمن بين الجملة المنطوقة وترجمتها لا يكاد يشعر به أحد •

وتعتمد امكانية الترجمة الفورية للخطب أو المناقشات على النتائج الأولية التي تم الحصول عليها من تحليل الكلام وتصنيفه • ولهذا يجب أن تزود الآلة بوسيلة لتحليل الكلام وتحويله الى شفرة رقمية •

وقد ثبتت بالفعل امكانية صنع آلة يمكنها ان تحاكي صوت ممثل ما  
او تقنى بصوته اذا كان نطقه للحروف المتحركة والسكينة والمقاطع  
المختلفة مسجلا من قبل . وتستطيع مثل هذه الآلة أيضا ان تقرأ كتابا  
أو تقنى مقطوعة موسيقية من النوتة اذا زودت بجهاز لتحليل الرموز  
المطبوعة .

ولكن مثل هذه الآلة التي تحلل الصوت الأدمى وتحاكيه لا تزال من  
أحلام المستقبل . ولا شك في أنه سيسبقها صنع آلات مترجمة يقنى  
إليها النص بالاستعانة بالآلات تشبه الآلة الكتابة إلى حد ما ، وكذلك يطبع  
النص المترجم بواسطة هذه الآلة .

وجدير بالذكر هنا أن هذه السرعة العالية جدا والسعة الكبيرة التي  
تتمتع بها هذه الذاكرات الجديدة ستمكن من صناعة آلات خاصة لتبادل  
المعلومات والإحصائيات .

ويمكن الإحساس بأهمية هذه الآلات اذا عرفنا ان عدد الكتب  
والمقالات العلمية والتقارير التي تطبع سنويا يصل إلى ٢٠٠٠٠٠ ، وفي  
المكتبات الكبرى الآن الملايين من الكتب والمجلات ويتضاعف عددها كل  
عشر سنين أو خمسة عشر . وواضح أنه بزيادة المطبوعات بهذا الشكل  
تتزايد صعوبة الحصول على معلومات وافية عن أى موضوع يوما بعد  
يوم .

كذلك لا يمكن للإنسان أن يتصور التحكم فى الصناعة بغير تحليل  
لعمل الهيئات المستقلة . ويعتمد مثل هذا التحليل على التقارير السنوية  
التي تحتوى أكثر من مائة مؤشر مختلف ( وسائل الإنتاج والتوزيع ،  
الأرباح والخسائر ، استهلاك المواد الخام ، المنتجات نصف المصنعة والأجهزة  
الكاملة ..... الخ ) .

ولتحليل بيانات ١٠٠٠٠٠ تقرير يحتاج مكتب الحسابات فى الوقت  
الحالى إلى ٤٠٠ وردية عمل . وتستطيع الآلة الحاسبة الإحصائية التى  
تستخدم الذاكرة الجديدة التى سبق الكلام عنها ان تقوم بهذا العمل فى  
دقيقة واحدة .

## الصمامات تتحكم

نظرا لاستطاعة الآلة الحاسبة الالكترونية مقارنة نتائج الحسابات  
واختيار احسن الحلول ، فانه يمكن استخدامها فى التحكم والتنظيم .  
وهذا قد يعنى التحكم فى مكنة تشغيل معادن أو بطائرة أو صاروخ أو مرور

فى الشوارع أو اطلاق المدفعية ٠٠٠ الخ ، كما قد نعنى بالتنظيم ، تنظيم العمليات التكنولوجية المعقدة الخطرة على الانسان أو الضارة به ، مثل صهر الصلب والحديد والزهر أو تكرير البترول أو تنظيم العمليات الذرية والكيميائية ، وأخيرا قد تعنى التحكم فى تشغيل ورشة أو مصنع أو شبكة توزيع القدرة الكهربائية فى الدولة بأكملها ٠٠٠ الخ .

وطريقة عمل الآلات الحاسبة الالكترونية المستخدمة فى أجهزة التحكم هى فى أساسها نفس الطريقة التى تعمل بها الآلات الحاسبة الالكترونية التى تقوم بالحسابات ، كما أنها تزود أيضا ببرنامج يتحكم فى تشغيلها والاختلاف الوحيد هنا هو فى أن الآلات المخصصة للتحكم لا تعطى نتائجها على شكل أرقام على هيئة اشارات أمرة تتحكم فى المكونات الأخرى . وهنا تتصل الآلة الحاسبة الالكترونية بعدد من الأجهزة اتصالا مباشرا ، فأولا الأجهزة التى تراقب التغيرات الحادثة فى الشيء المراد التحكم فيه ، وثانيا آليات التشغيل التى تعيد الشيء الى الحالات المطلوبة أو تغير حالته حسب ما يتطلبه البرنامج .

وعادة تعطى أجهزة القياس التى تراقب حالة الشيء المراد التحكم فيه بياناتها على شكل قيم متغيرة باستمرار ( نظائر ) لا فى الصورة العددية التى « تعودت » عليها الآلات الحاسبة الرقمية . فمثلا قد تكون القيم المراد التحكم فيها هى الفلطية فى طائرة ما وسرعتها وارتفاعها ، أو درجة حرارة فرن ما والضغط بداخله ٠٠٠ الخ . وفى هذه الحالة تزود الآلة الحاسبة الالكترونية بأجهزة دخل خاصة تحول القيم المتناظرة الى قيم عددية . ويتكرر نفس الشيء بالنسبة لأجهزة خرج آلات التحكم حيث تزود عادة بمحولات خاصة لتوصيل الآلة الحاسبة بالشيء المراد التحكم فيه .

ولكن كيف تستطيع الآلات الحاسبة الالكترونية أن تتحكم ؟ باستقبال المعلومات عن حالة الشيء المراد التحكم فيه من أجهزة القياس ، تقارن الآلة الحاسبة المتحكم بالالكترونية باستمرار بين هذه المعلومات ونتائج الحسابات التى تقوم بها على بيانات الدخل على أساس البرنامج . فإذا لم تتطابق القيمتان المقارنتان ترسل الآلة أمرا الى آلية التشغيل التى تتحكم فى الشيء .

ويجب ان نؤكد هنا انه لا يمكن استخدام الآلة الحاسبة الالكترونية فى التحكم الا اذا كان سلوك الشيء المراد التحكم فيه محكوما بقواعده محددة ، اى اذا كان يمكن التعبير عنه رياضيا وكان يمكن صياغة العمل

المربوط بالآلة في شكل برنامج مكون من عمليات واضحة ومحددة • فمثلا لا يمكن التحكم - باستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية - في تلك العمليات الانتاجية المتالوجية التي لم تمكن صياغتها رياضيا بعد •

ويمكن أن يساعد برنامج الآلة على تقدير سلوك الشيء المراد التحكم فيه في المستقبل • ولهذا الغرض تقوم الآلة بحساب عدة نماذج من السلوك للشيء المراد التحكم فيه حسب تغير ما قد يتغير داخله وخارجه •

وعندما تحصل الآلة على نتائج هذه الحسابات المختلفة تقارنها بمعايير محددة من قبل (مثل أقل استهلاك للوقود أو نوع الانتاج) وتختار أحسن نمط • ومثل هذه الآلات تكيف نفسها حسب البيئة وحسب ما تتحكم فيه ، وهي « تتذكر » أحسن نمط للتحكم لكل حالة و « تجمع » الخبرة • وقد عرفت أجهزة التحكم هذه بأنها « تضبط نفسها » أو « تحسن نفسها » وينتظرها مستقبل رائع •

ولندكر بعض الأمثلة لاستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية في أجهزة التحكم والتنظيم • فقد حققت الصناعة اقتصادا كبيرا في النفقات باستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية للتحكم في مكائن قطع المعادن • وقد تمت أولى التجارب في هذا الميدان في الماخى القريب في سنة ١٩٥٠ • لقد كان من الضروري - عند صنع اجزاء ذات اشكال معقدة باستخدام مكينة نساخة - أن تصمم القطعة أولا وترسم ثم يصنع نموذج لها لتنسخه المكينة ، أما اذا استخدمت مكينة نساخة يتم التحكم فيها الكترونيا فيمكن لها برنامج حساب • وباتباع اوامر البرنامج ، تصمم الآلة الالكترونية اوتوماتيكيا القطعة بدون تدخل الانسان وتختار الأوامر اللازمة للتحكم في أداة القطع في المكينة النساخة وتضمن صحة تتابع مراحل التشغيل المختلفة وتقارن باستمرار بين أبعاد القطعة المصنوعة وبيانات التصميم • ويمكن ان توضع الآلة الحاسبة خارج الورشة وتتحكم في تشغيل عشرات المكائن حسب عدد القطع المراد صناعتها •

وفي نفس ذلك الوقت أيضا بدأت أولى المحاولات لاستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية في قيادة الطائرات • ففي الفترة من ١٩٤٨ الى ١٩٥٢ كان أول جهاز لقيادة الطائرات باستخدام الآلة الحاسبة الالكترونية التي سميت « ديجيتاك » في مرحلة التطوير والاختبار • وأجريت الاختبارات على طائرة نقل طارت في دائرة مغلقة على هيئة شكل رباعي غير منتظم بسرعة ٢٥٠ كيلو مترا في الساعة • وكانت نتائج الاختبارات باهرة ، اذ وجد أن الطائرة التي طارت أوتوماتيكيا تحت اشراف آلة الكترونية طارت اللطف وأدق بكثير مما لو قادها طيار • وقد شغلت الآلة

الحاسبة التي ركبت في الطائرة حجما قدره ١٦ ر. مترًا مكعبا وكان وزنها ٥٩ كيلو جراما . وكانت اهم مميزاتها عموميتها . فطبقا للتعليمات الموجودة في البرنامج ، لم تعد آلة التحكم الالكترونية الطائرة في طريقها الرسوم فحسب بل كانت تحدد مكانها ايضا بصفة مستمرة ( طبقا للبيانات التي تستقبلها من ثلاث محطات ملاحية أرضية ) كما انزلتها الى الأرض ٠٠٠ الخ . وكان هذا « الطيار الآلي » مجرد تجربة أولى في هذا المجال . أما الآن فهناك أجهزة الكترونية لقيادة الطائرات أحسن منه بكثير .

وفي حل مثل هذه المسألة المعقدة كقيادة طائرة ، تقوم الآلة الحاسبة في الحقيقة بنفس مجموعة العمليات المعتادة بالنسبة لها ، اذ تقارن الوحدة الحساسة باستمرار بين المكان الفعلي للطائرة - والتي تحصل عليه من أجهزة الملاحية - والبيانات الموجودة في برنامج الطيران . وتصحح الآلة الالكترونية مسار الطائرة طبقا لنتائج هذه المقارنة .

وقد أدت هذه العمومية للآلات الحاسبة الالكترونية الى فكرة استخدامها في جميع الأحوال التي يجد الانسان فيها صعوبة في معالجة كمية هائلة من البيانات . فمثلا ليس من السهل التحكم في المرور في مدينة كبيرة ، وهنا نجد أن نظاما موحدا للتحكم يكون عظيم الفائدة حينما يحصر جميع الطرق العمومية والتقاطعات ويدخل في اعتباره ظروف المرور في أماكن معينة في أوقات معينة . وقد أدى هذا الى ظهور « آلات التحكم في المرور » . ويحسب هذا النوع من الآلات الالكترونية أنسب الأوقات لتحويل اشارات المرور وذلك بعد الحصول على البيانات اللازمة عن عدد السيارات المنتظرة عند الاشارة الحمراء وبعد اعتبار زمن الانتظار والموقف في التقاطعات الأخرى . وبهذا يصبح من السهل من حيث المبدأ ، حل مشكلة أعقد من هذه ، ألا وهي التحكم في السيارات ، لا بدون شروط المرور فحسب ، بل أيضا بدون سائق . وهناك بالفعل طريق عام تجريبي تطبيق فيه قوانين المرور المعتادة وفيه تتخطى السيارات الترسية تلك البطيئة بدون ادنى احتمال للحوادث .

ومن المفيد أيضا استخدام ما يسمى « المراقب الآلي » للتحكم في حركة الطائرات في المطارات . فعندما تتلقى الآلة البيانات الخاصة برقم الطائرة التي تستعد للهبوط وتدرس موقف الحركة في المطار يمكنها أن تضع برنامج الطيران لكل طائرة من الطائرات التي تحلق فوق المطار وترسله اليها ، وبهذه الطريقة تنظم الحركة فوق المطار .

ولكننا نجد أن أكثر النتائج التي يمكن الحصول عليها وضوحا • هي التي تستخدم فيها الآلات الإلكترونية التي تستطيع التحكم في مصانع كاملة أو مناجم أو محطات قدرة • فإن هذه المهمة أعقد بكثير بالطبع من مجرد التحكم في مخرطة مثلا أو منشأة تكنولوجية ، إذ لا يستطيع القيام بهذا العمل إلا آلة إلكترونية أعقد بكثير من سابقتها ، كما أن برنامجها يكون أكثر تعقيدا هو الآخر • وفي سنة ١٩٤٩ ، أنشئ في الولايات المتحدة معمل تكرير بترول كان يدار بالكامل بواسطة آلة إلكترونية من هذه الآلات ، وفي هذه الآلة جمعت كافة أجهزة القياس في وحدة تحكم واحدة مزودة بإشارات ضوئية وصوتية ، فإذا تغير الضغط أو درجة الحرارة أو أي من العوامل الأخرى في إحدى منشآت المعمل ، يضيء مصباح أو ينطلق صوت لينذر العامل الوحيد بالمعمل بالخطر • وهناك مثل آخر للمصانع الآلية ألا وهو مصنع كيميائي في أوكلاند ينتج ٦٠ طنا من ثاني أكسيد الكربون في اليوم ، ويعمل في المصنع عاملان أحدهما موكل بتسليم الثلج الجاف إلى المخازن •

ولا نتوقع في هذه الحالة أن تقوم الآلات الإلكترونية التي تتحكم في المجموعات الصناعية المعقدة أو محطات القدرة ، بتنفيذ إرادة الإنسان. تنفيذاً « أعمى » إذ لا تحتفظ الآلات التي « تضبط نفسها » بإحالة الشيء المراد التحكم فيه ثابتة فحسب بل تدخل في اعتبارها التغير في الظروف المحيطة وتختار أحسن الظروف و « تتعلم » أثناء عملها بحيث تستطيع من أخطائها السابقة •

وقد فتحت الآلات « المتعلمة » صفحة جديدة في تاريخ التحكم الآلي. تصور فرنا عاليا ينتج الحديد الزهر بنفسه تماما كما تقوم مخرطة آلية بصناعة المسامير والصامولات والقطع الأخرى بدون أي تدخل من الإنسان •

قد يقول القارئ أن هذا مستحيل ، إذ تشكل المخرطة الآلية القطع المختلفة من خامات نصف مصنعة ذات أبعاد محددة من قبل ، كما أنها تقوم ببعض العمليات القياسية مثل التنقيب والقلوطة وفصل القطعة المصنعة من الخامة نصف المصنعة • ومثل هذا العمل يمكن جملة أو توماتيكيا • وتصيب وظيفة الإنسان مجرد ضبط الكنة الأوتوماتيكية ومراقبة عملها ، ولكن القرن العاشر ، إذ لا يستخرج الحديد الزهر من خامات نصف مصنعة • ولكن من شحنة معقدة تحتوي على كثير من المكونات بالإضافة إلى الخام وفحم الكوك • وتختلف خواص الخليط اختلافا كبيرا ، إذ تختلف رطوبته ، وكذلك لا يثبت تركيب الخام ولا المحتوى الرمادي في فحم الكوك عند قيم واحدة ، كذلك تتغير درجة حرارة الهواء الداخل إلى الفرن وضغطه •

وليست هذه هي كل الفروق بين عملية الفرن العالي وتشغيل المخروط ، فإن العمليات التي تتم أثناء صناعة مسبار لا تختلف عن تلك التي تتم أثناء صناعة مسبار آخر بأي حال من الأحوال ، ولكن تختلف كل صبة وبالذات كل دورة من بدء اشعال الفرن الى اطفائه من غيرها ، وهذا أمر حتمي بالنظر الى تعقد العملية ومدى الفروق الجوهرية في الظروف التي تتم فيها دورة الانتاج في الفرن العالي والتي يصعب جدا ادخالها في الاعتبار .

وحتى الآن لم يتم سوى تحكم آلي جزئي في عمليات الفرن العالي . ويتم التحكم في ظروف درجة الحرارة وضغط الغاز وتركيب الشحنة .. الخ كل على حدة . ويمكن للعامل ان يضبط ظروف أجهزة التحكم حسب التغير في سير العمليات . وبهذه الطريقة تخفف المكثات الأوتوماتيكية العبء الملقى على عاتق الانسان وتجعل عملية الصهر أكثر انتظاما وتقلل الأخطاء المحتملة في تشغيل الفرن العالي . وبعبارة أخرى تؤدي المكثات الآلية بنجاح الواجبات التي يضبطها عليها الانسان ولكنها تعجز عن أن تتحكم تحكما كاملا في الدورة بأكملها من بدء اشعال الفرن العالي الى ايقافه .

والسبب الرئيسي في هذا هو ان ما يتم داخل الفرن العالي عملية معقدة جدا ولم تفهم تماما حتى الآن . وبالمستوى الحالي للتحكم الآلي ، تستطيع الآلة الحاسبة الالكترونية ان تنظم تشغيل جميع الأجهزة الأوتوماتيكية التي تتحكم في الفرن العالي ، ولكننا لسنا على درجة كافية من المعرفة لكتابة البرنامج اللازم لتشغيلها .

وفي الحقيقة تعمل مكثات التحكم الآلي الى حد ما كرجل يتبع التعليمات التي أعطيت له . وتحتوي التعليمات على عدد من العمليات المتتابعة التي عليه أن يقوم بها . ويمكن القول بأن كلا من هذه العمليات عبارة عن رد فعل معين من العامل لأحد التغيرات التي يتعرض لها الشيء المراد التحكم فيه . وتتخذ التعليمات عادة الشكل المنطقي : « اذا حدث كذا فافعل كذا » . فمثلا اذا تراكمت كمية كافية من الحديد الزهر المنصهر في الفرن العالي ، فإن على العامل ان يفتح صنبورا معيناً ليفرغ المعدن وذلك بالاستعانة بمكنة خاصة .

ولا يستطيع جهاز التحكم الذي يحل محل الانسان أن يعمل بدون تعليمات ، ولوضع مثل هذه التعليمات يجب معرفة العملية جيدا .

ولكن يمكن للعامل الماهر أن يتحكم في عملية لا يعرف عنها الا القليل بدرجة عالية من المهارة بدون أية تعليمات ، اعتمادا على خبرته



السابقة . وفي بعض الأحيان لا يتبع العامل التعليمات حرفياً حتى اذا كانت لديه تعليمات واضحة ، بل يقوم ببعض التصحيحات أثناء العملية حسب ما تقتضيه الظروف . ويمكن للعامل الماهر ان يعدل في التعليمات بحيث يؤقلمها مع التغيرات التي قد تحدث في الشيء المراد التحكم فيه .

وقد وجد ان الآلة الحاسبة يمكنها أيضاً ان تؤقلم نفسها مع التغيرات التي قد تحدث في الشيء المراد التحكم فيه والظروف المحيطة به . وتوضع لهذا الغرض تعليمات خاصة للآلة تمكن من ادخال كل التغيرات الممكنة في الاعتبار . وبعد هذا تقوم الآلة بتحليل المعلومات التي تتلقاها أثناء العملية والتغيرات التي قد تطرأ على ظروفها ثم تقدر أهميتها من وجهة نظر بعض المعايير المحددة من قبل (مثل أقل استهلاك للوقود أو نوع الانتاج) ثم تختار أحسن نمط للتحكم . وأكثر من هذا ، اذا حدثت بعض التغيرات في عملية التحكم وكانت قد حدثت من قبل ، « تتذكر » الآلة ما فعلته في الحالات المشابهة لأن لها « ذاكرة » وتغير سلوكها على أساس الخبرة السابقة ، كما يمكنها ان تحسب حساب التغيرات التي قد تحدث في المستقبل وتتنبأ بما ستقوم به عند حدوثها .

ولما كانت الآلة « تتذكر » جميع أعمالها وأخطائها السابقة وما قامت به بنجاح ، فاننا نجد ان هناك تعليمات جديدة تظهر بالتدريج في ذاكرتها ، هذه التعليمات قد وضعتها الآلة لنفسها .

وأكثر من هذا ، يمكن للآلة ان تحاكي خبرة الانسان . وقد تمت بالفعل تجربة وصلت فيها آلة حاسبة جهزت للتحكم في احدى عمليات القرن العالي وزودت بتعليمات ( برنامج ) أولية بفن كان يقوم على ادارته مجموعة من العمال المهرة . وفي أثناء فترة التمرين وصلت أجهزة القياس فقط بالآلة الحاسبة بينما فصلت الأعضاء التي تتحكم في العملية عنها وتولى أمرها العمال .

وبوساطة برنامجها وقرارات الأجهزة ، قامت الآلة بحساب بعض الأوامر لأعضاء التحكم في الفرن ونفذتها ، ولكن الآلة لم تكن تتحكم في العملية بالفعل بل كانت تقارن الأوضاع أجهزة التحكم التي حسبتها بتلك التي ضبطها العمال فقط . فاذا حدث اختلاف بين الوضعين تسجل الآلة أوتوماتيكياً التغيرات اللازمة في برنامج الحساب . وبعد ثلاثة أشهر من هذا « التمرين » وصلت الآلة بأعضاء التحكم وقامت بتشغيل الفرن العالي بالكامل بنفس درجة مهارة الفريق الذي قام بتعليمها .

وهنا يجب لنا ان نتساءل : في أي الحالات يمكن استخدام مثل هذه

الآلات المتحكم « المدربة » ؟ • والاجابة : فى جميع الحالات التى يجب فيها تصحيح برنامج التحكم على أساس النتائج الأولية •

ومن الامثلة الجيدة هنا حالة مكثات الدلفنة على الساخن ، حيث تساعد اولى الكتل المدلفنة على ضبط الآلات والمكثات بدقة أكثر •

أما فى انتاج القطع المصنوعة من سبائك صلبة فقد جرت العادة على صنع كمية تجريبية أولا • وبعد تحليل مستواها يمكن للآلات ذاتية التعليم ان تحدد أحسن الظروف لتشغيل باقى القطع •

وسنكون لمثل هذه الآلات أهمية كبرى عندما تتحكم فى مصانع كاملة ، اذ تساعد على زيادة الانتاجية بتلخيصها لكل الخبرات المتاحة •

### السيرينات

تذكرنا آلات التحكم الالكترونية التى كنا نتكلم عنها بالمخلوقات الحية التى يمكنها ان تتأقلم مع التغيرات التى تحدث فى الظروف المحيطة بها • ومن المعروف أن للكائنات الحية عددا من المنظمات الأوتوماتيكية المعقدة التى تحتفظ بدرجة حرارة الجسم وضغط الدم وباقى العوامل ثابتة • وبمباراة أخرى تخضع الظروف الفيزيائية للكائن الحي ووظائفه للتحكم •

ويمكن استخدام أساس تشغيل المنظمات فى الكائنات الحية كنموذج لتصميم آلات التحكم الأوتوماتيكية • وبتقدير بالذكر هنا أن الانسان فى تصميمه لأولى أجهزته الأوتوماتيكية ، كان يحاول تقليد أبسط الوظائف التى يقوم بها هو نفسه • فلا عجب اذا كانت الهندسة كثيرا ما تستخدم نفس أساسيات التحكم الموجودة فى الكائنات الحية • وقد لاحظ هذا العالم الفيسيولوجى الروسى سيشينوف الذى كتب انه وجد شبيها كبيرا بين أساسيات عمل المكثات ذاتية التنظيم وتلك الخاصة بالكائنات الأدمية • فقد قام مثلا بالمقارنة بين بعض الأفعال الانعكاسية للجسم وعمل الحاكم فى آلة وات البخارية ووجدت سمات مشتركة فى أساس عملهما •

وقد قاده هذا الى دراسة أساسيات التحكم الآلى فى المكثات والكائنات الحية دراسة مشتركة • ثم جاء العالم الفرنسى امبير الذى تنبأ بظهور علم التحكم الذى لم يكن قد ظهر بعد ووضع صيفا لمسائله بطريقة تشبه

تلك التى رتب بها مندليف خواص العناصر الكيميائية التى لم تكن قد اكتشفت حتى عصره . وسمى أمير ذلك العلم السيبرنيات . وقد استخدم العالم المعاصر نوربرت فينر - أحد مؤسسى العلم الجديد - ذلك الاسم القديم ، وإذا بحثنا عن العامل الذى أوجد الدافع لنمو وتطور السيبرنيات الذى يعتبر من أهم علوم عصرنا لوجدنا أنه انضمامات الالكترونية ، أو بمعنى أصح الآلات الحاسبة الالكترونية . فقد اكتسب علم السيبرنيات أسلحة بحث قوية على شكل آلات حاسبة الكترونية . إذ تقوم الآلات الحاسبة الالكترونية بعدد من الوظائف التى كانت تعتبر حتى الآن من مميزات العقل البشرى . ففي وصف عمل مثل هذه الآلات لا يستطيع الإنسان تجنب استخدام تعبيرات مثل « الآلة تحسب » أو « تترجم » أو « تحلل » أو « تذكر » أو « لغة الآلة » ... الخ وهى الألفاظ التى كانت تطلق على الإنسان فقط . وقد كانت هذه الحقيقة مرة أخرى أن عمل الآلات الحاسبة الالكترونية الحديثة له أوجه شبه كبيرة بالنشاط العقل للإنسان .

وفى أثناء تطور الآلات الالكترونية الحديثة ، لوحظ أن أساس عملها يشبه من نواح كثيرة أساس عمل الجهاز العصبى والمخ فى الإنسان والحيوان . المخ والجهاز العصبى عضوان معقدان يتحكمان فى الكائنات الحية . ومن صفات الأعصاب انها إما أن تستجيب لمنبه خارجي أو لا تستجيب وليست لها حالة ثالثة . وينتقل المنبه السمعى أو البصرى أو أى منبه آخر بواسطة الخلايا العصبية الى قطاع خاص فى المخ . ويستجيب هذا القطاع للمنبه بإرسال أمر الى العضو المناسب بحيث يجعله يستجيب له . ولا ينتقل المنبه بطريقة مستمرة ولكن على شكل دفعات من النبضات العصبية . ويمكن القول بأن تيارا كاملا من نبضات الاحساس يسير خلال الخلايا العصبية الى المخ ، وأن تيارا عائدا من نبضات التحكم يسير من المخ الى الأعضاء المختلفة .

وقد كانت عملية التحكم فى الكائنات الحية هذه موضع بحث منذ زمن طويل ، وقد حاول الفيسيولوجيون منذ مائة عام تصميم نموذج للجهاز العصبى ، الأدمى لمساعدتهم فى دراسة عملية نقل النبضات العصبية . ولكن لم تكن النماذج الأولى كاملة ولم تساعدهم الا فى دراسة تقريبية لهذه العملية المعقدة .

الا أن ظهور الآلات الحاسبة الالكترونية أحدث ثورة فى هذا المجال ، إذ وجد أن هذه الآلات تصلح لأن تكون نماذج رائعة لدراسة النواحي المختلفة للنشاط النفسى والعصبى للإنسان . فمثلا عندما صممت

آلة لقراءة التصوص بصوت عال للعميان ، وجد ان أساس عملها يشبه كثيرا عمليات تكوين الوصلات في القطاعات الخاصة بالتحكم في الاستقبال البصرى من قشرة المخ .

ويشتمل عمل الآلة الكاتبة الالكترونية من حيث نقل المعلومات على نفس الأسس التى يقوم عليها الجهاز العصبى للكائنات الحية . وتشبه الدوائر النطاظة فى الآلات الحاسبة الالكترونية التى سبق ان تناولناها بالشرح الخلايا العصبية من حيث انها لا تكون الا فى احدى حالتين : اما ناقلة للنبضة او غير ناقلة لها . فاذا تلقت الآلة معلومات على شكل مجموعة من النبضات الكهربائية ، تنتقل هذه النبضات فى القنوات المناسبة فى الآلة بطريقة تشبه تلك التى تنتقل بها النبضات العصبية فى الالياف العصبية فى الكائن الحى حاملة تيارا من المعلومات عن منبع معين .

ولتلك الوظيفة الهامة من وظائف الجهاز العصبى ، وهى الذاكرة . سببها فى الآلات الحاسبة الالكترونية ، وطبقا للبرامج المخترنة فى ذاكرة الآلة ونوع نبضات التحكم التى يرسلها جهاز التحكم . ويعتبر « المخ » بالنسبة للآلة الحاسبة الالكترونية - بمثابة العضو الذى يمكنها من ان تلعب الشطرنج أو تتحكم فى مصنع أو تحل مسائل رياضية .

وبهذا نرى ان العمليات التى تتم داخل الآلة الحاسبة الالكترونية الحديثة تقسبه فى كثير من النواحي تلك التى تتم فى المخ البشرى ، وبالطبع تكون العمليات التى تتم داخل المخ أكثر تعقيدا بكثير . وكما قال أحد العلماء فان الجهاز العصبى آلة فائقة التعقيد ، أعقده عشرة ملايين مرة على الأقل من أية آلة اصطناعية معروفة . وبالتالي فان عملها أكثر تنظيما وتعقيدا ، ومن ثم فان مشكلة فهم النشاط العصبى للحيوان أعقق بكثير من فهم عمل الآلة الحاسبة الالكترونية .

ولهذا لا يصح اطلاقا تعريف الآلات بالقياس بتلك التى صنعت لتفسرها ، كما يجب أن يوضع فى الاعتبار دائما ان جميع النظريات التى تحاول تفسير النشاط العصبى بمقارنته بالآلات الحاسبة هى فى جوهرها تقريب للموضوع ، اذ أن هذه العمليات متشابهة من بعيد . ولكن قد يكون للأبحاث الخاصة بعمل الآلات الحاسبة الالكترونية أهمية فى اكتشاف القوانين التى يحل بمقتضاها المخ والجهاز العصبى فى الكائنات الحية .

وبدراسة القوانين المسيطرة على الكائنات الحية - بالاستعانة

بالنماذج الالكترونية - قد يمكن الانسان من التغلب على كثير من الاضطرابات التي تحدث في أجهزة التحكم فيه . وقد تسبب الاضطرابات في أجهزة التحكم الحية ( أى المخ والجهاز العصبى ) اضطرابات وظيفية مختلفة . فمثلا هناك حالات يفقد فيها البعوض المقدرة على تنظيم حركاتهم ، فإذا فهمنا آلية هذه الظاهرة قد يمكن العثور على وسيلة لمكافحتها .

وقد كانت أولى التجارب التي تمت في هذا المجال لدراسة عمل الرتتين والغدة الدرقية بالاستعانة بنماذج الكترونية ( نظائر ) . وقد تم بالفعل تصميم جهاز الكترونى يحاكي عمل القلب والدورة الدموية . ويمكن لهذا الجهاز ان يرسم المنحنيات ( رسام القلب ) الخاصة بعمل جزءه سليم أو تالف . فإذا ما انطبق رسم القلب الفعلى لمريض على واحد من المنحنيات التى يرسمها النموذج الالكترونى ، فإن هذا قد يساعد الطبيب فى تشخيصه أو يؤكد تشخيصه الذى قام به بالفعل عن مرض القلب .

ويمكن استخدام طريقة مشابهة فى تحديد طبيعة الاضطرابات العصبية والنفسية ، فبالمقارنة بين رسم المخ لمريض والمنحنيات التى ترسمها آلة حاسبة بالمقياس يمكن دراسة الانحرافات غير العادية فى عمل المخ . كما أن هناك من الأسباب ما يدعو الى الاعتقاد بأن النظرية العامة للتحكم والسيبرنيات يمكن أن تحل مسائل الوراثة والتناسل كما تساعد على استكشاف تلك العملية الجوهرية وهى التفكير الأدمى .

وقد يحق لنا الآن ان نذكر نماذج خاصة تصور تطوير الانعكاسات المشروطة وعملية تدريب الحيوانات . فمن المعروف ان بالغولف طور الانعكاسات المشروطة فى الحيوانات عن طريق التكرار المنتظم لنفسه ، الدرس ، مثل تفذية كلب بعد دق جرس ، فبعد مدة كانت الصادة ألعندية تظهر فى معدة الكلب بمجرد دق الجرس كما لو كان يأكل .

ولقد صمم العلماء حديثا نموذجا الكترونيا سمي « السلحفاة » . وتستطيع هذه « السلحفاة » أن تتحرك فى خط مستقيم وتنبور وتستجيب للضوء والصوت . ووظيفتها الرئيسية أن تبحث عن الضوء وتتحرك صوب مصدره . فإذا واجهتها عقبة ، تراجع وتنبور دورة حادة ثم تستمر فى جريتها الى الأمام . ويمكن اعتبار تجنب هذه السلحفاة للعقبات نوعا من الانعكاس المشروط . فإذا صاحب كل اصطدام بعقبة صدور صوت سجلت ذاكرة خاصة حدوث هذين الفعلين فى وقت واحد . وبعد اعادة هذه التجربة عدة مرات تكتسب السلحفاة خاصية الانعكاس المشروط : إذ

تقوم بعملية اختناط العقبات بمجرد « سماع » الصوت حتى قبل الاصطدام بالعقبة . فإذا كُتبت عن هذه التجربة لمدة طويلة « تنسى » السلخفة الدرس ، تماما كما يحدث مع الحيوان عندما « ينسى » العادة المكتسبة بضى الوقت اذا لم يدرب .

ويحاكي نموذج يدعى « فار » شانون - على اسم العالم الأمريكى الذى طوره - عملية التعليم . وقد صنع هذا النموذج على شكل فار يسير فى متاهة الى قطعة من الدهن ( مصنوعة من الحديد ) موضوعة فى احدى خلايا المتاهة .

وفى البداية لا يجد « الفار » أقصر طريق الى « الدهن » من أول مرة بل يتعثر فى طرقات المتاهة . فاذا قطعت دائرة الجهاز ثم أعيدت ثانية يحدث أمر « عجيب » اذ يأخذ « الفار » أقصر الطرق الى « الدهن » بدون اضاءة أى وقت . ويكون أول انطباع أن « الفار » قد تذكر الطريق ، أى انه قد « تعلم » . وهذا فى الواقع هو ما حدث باضبط ، اذ زود الجهاز بذاكرة تخزن لمدة من الزمن أقصر الطرق الذى وجدها « الفار » الى « الدهن » . فاذا تكررت التجربة عددا كافيا من المرات . يتذكر « الفار » الطريق ، لما اذا لم تتكرر لزمان طويل ، فإنه ينساه .

و « السلخفة » و « الفار » هما أبسط النماذج التى يمكن ان تساعد على توضيح عملية التعليم وتطوير الانعكاسات المشروطة فى الحيوانات . ويمكن اجراء تجارب مشابهة او حتى أكثر تعقيدا بالاستعانة بالآلات الحاسبة الالكترونية العامة . وقد وضعت عدة برامج خاصة لهذا الغرض ، وقد أتاحت هذه البرامج امكانيات واسعة لمحاكاة العمليات المختلفة التى تحدث فى الكائنات الحية .

هذه هى الموضوعات التى يواجهها علم السيبرنيات فى مبادئ وظائف الأعضاء والطب . ولا تقل الموضوعات الهندسية التى يواجهها عن تلك فى التعقيد .

فان « الفار » و « السلخفة » وباقى الأجهزة المشابهة لا تعمل كنماذج لدراسة تطور الانعكاسات المشروطة وعمليات التعليم فحسب بل يمكن ان تستخدم كطراز مبدئى لأجهزة أوتوماتيكية جديدة محسنة . فمثلا يمكن استخدام الأجهزة ذاتية الحركة مثل « السلخفة » فى المستقبل فى استكشاف قاع المحيط أو أسطح الكواكب حيث تنقل الى هناك بواسطة سفن الفضاء أو فى القيادة الآلية للسيارات ، وهكذا .

وكذلك يمكن للأجهزة المشابهة - التي يمكنها ان تبحث وتذكر - ان تستعمل كطرز مبدئية لتطوير أجهزة التحكم الآلية التي قد تستطيع القيام بعملية هبوط الطائرات بعد أن تدخل في اعتبارها طبيعة الحمولة في الطائرة واستهلاك الوقود في الأنواع المختلفة من الطائرات . . . . الخ .

كما يمكن ان تستخدم الأجهزة مثل « الفأر » - مثلا - كنماذج لتطوير سنترالات تليفونية أوتوماتيكية حديثة تصمم حسب أسس تختلف تماما عن تلك المستخدمة حاليا .

اذ بالرغم من كل ما بذل للوصول بالسنترالات انتليفونية الأوتوماتيكية الحالية الى درجة الكمال ، فإنها ما زالت لا تخلو من عيوب ، اذ يضيع وقت لا بأس به في طلب أى رقم حتى انه اضطر الى تحديد أرقام الطوارئ والخدمات الخاصة برقمين فقط . وقد يكون هناك أقل من مائة رقم تليفون في مفكرتك ، ولكن من هذه لا تحتاج بانتظام الا عشرة أو عشرين هي أرقام أصدقائك المقربين أو تلك التي لها علاقة بملكك ، وهذا هو الحال بالنسبة لأى شخص آخر .

ولكن ، أليس من الممكن تصميم سنترال يدخل في اعتباره العدد المحدود من المكالمات التي يؤديها كل مشترك ويوصله بهذه الأرقام بالاستعانة ببرنامج قصير ؟ تصور كم من الوقت والمجهود يمكن ان يوفر ، كما انه قد يكون من المحتمل ان يستخدم مثل هذا السنترال معدات أبسط من تلك المستخدمة في السنترالات الحالية .

ولنفترض الآن أن « الدهن » هو الرقم الذي يطلبه المشترك وأن حركات « الفأر » هي البحث الآلى عن هذا الرقم . فبدراسة « عادات » الفأر الاصطناعى يمكن تصميم نوع جديد من السنترالات التي « يمكن تدريبها » « لتتذكر » أقصر الطرق الى الأرقام التي يتكرر طلبها كثيرا بحيث يوصلها بالمشارك المرح من المرة الأولى .

ويمكن ببساطة تصور كيفية تطبيق نفس الفكرة لوضع قوائم استعارة أوتوماتيكية للمكتبات . وبالنسبة لهذه الأوتوماتيون يكون « الدهن » هو الأماكن التي بها المجموعات الرئيسية للبطاقات التي تحتوى على الفروع المختلفة من العلم والهندسة والفنون . . . الخ ، وتقسّم الأقسام الكبيرة الى أقسام أصغر وتنقسم هذه بدورها الى أقسام أصغر وهكذا مكونة متاهة . وكما كان الحال في النموذج الأصلي يدور البحث خلالها عن الكتاب المطلوب .

وعند تلقى طلب لأحد الكتب ، يبدأ « فأر » قائمة الاستعارة في البحث في جميع خلايا ذاكرته حتى يجد « الدهن » ، أى القسم المطلوب ثم يعطى البيانات المطلوبة .

وفى نفس الوقت يتذكر الأوتوماتون ما طلب منه ، فإذا تكرر نفس الطلب كثيرا ، يبدأ فى البحث عنه طبقا لبرنامج مختصر بحيث يعطى البيانات المطلوبة بأسرع من المرة الأولى .

ويمكن استخدام نفس الفكرة فى تصميم أوتوماتون يمكنه التحكم فى مجموعة كبيرة من العمليات التكنولوجية ، ومجموعات مختلفة من المكائن والآليات بحيث يمكنه الاستفادة من الخبرة السابقة .

ويعتقد العلماء انه من الممكن تصميم أوتوماتونات « منطقية » على أسس من التقنيات الهندسية البسيطة . وقد نفذت هذه الفكرة بالفعل فى جهاز صمم فى معهد الأوتوماتيات والتليميكانيات التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية .

وهناك مجال آخر لاستخدام مثل هذه الآلات . تذكر صعوبة الاتصال بمكتب الاستعلامات فى أية محطة من محطات موسكو . كلما طلبت الرقم وجدته مشغولا معظم الوقت ، ولا عجب لأن هناك دائما عددا كبيرا من الناس يحاول طلب مكتب الاستعلامات فى نفس الوقت .

وقد ابتكر نوع جديد من الدوائر الكهربائية سيمكن السنترال من توصيل المكالمات الواحدة بعد الأخرى بترتيب طلبها . فإذا طلبت الرقم فانتظر بصبر الى ان يأتى دورك . وبهذا يمكن للأوتوماتون ان يسمح بتوصيل أى عدد من المكالمات كل فى دورها . وبالإضافة الى هذا يمكن استخدام الدائرة الجديدة لتوزيع الحمل بانتظام على المعدات المختلفة كما فى المصاعد الموجودة فى الأبنية المرتفعة مثلا . اذ عادة ما ترتب هذه المصاعد فى « منور » واحد ولكن غالبا ما يستخدم ذلك القريب من باب الدخول أو الخروج أكثر من غيره ، ونتيجة لهذا تلبى المصاعد بسرعات مختلفة .

وتزيل هذه الدائرة الجديدة - التى يمكن استخدامها فى مجالات مختلفة اختلافا كبيرا - هذا العيب . وهى من الأجهزة ذات التحسين الذاتى التى تتحكم فى العمليات بدون تدخل من الإنسان .

وعند الحاجة ، يمكن ان تستوعب الأجهزة ذاتية التحسين ، لا الدوال الأساسية التى اختارها المصمم لحسب ، بل أيضا عددا من الخصائص



الأخرى فى أى وقت • وهذا هو السبب فى اتساع ميادين استخدامها •  
فمثلا عند تنظيم مرور القطارات عند تقاطع السكك الحديدية ، يمكن ان يستوعب الجهاز بالاضافة الى وقت وصول القطارات طبيعة الشحنة أيضا بحيث يسمح بمرور الشحنات سريعة العطب أو العاجلة أولا • وبهذا يمكن رفع كفاية استخدام مركبات السكك الحديدية والاسراع فى تسليم الشحنات الهامة ، وتبسيط عمل رجال التشغيلات ومنظمى سير القطارات أما اذا استخدمت مثل هذه الآلة الأوتوماتيكية فى فرز الخطابات فى مكاتب البريد ، فانها لا تدخل فى اعتبارها جداول سير قطارات البريد والطائرات وكمية البريد المراد ارسالها الى الجهات المختلفة ، بل أيضا درجات أهمية البريد •

وباختصار ، فللأجهزة التى ذكرناها بعض الخواص التى لا توجد إلا فى المخلوقات الحية •

وستنكمل الآن عن ناحية أخرى من نواحي الميكنة السيبرنية التى يمكن تنفيذها بالوسائل الالكترونية •

يمكن معالجة جميع مشاكل الاحتفاظ بسرعة محرك ما ثابتة مع تغير الحمل أو سرعة طائرة ما ثابتة مع تغير ظروف الطيران أو ضغط ثابت أو منبع هواء أو فلتية أو تيار كهربائى ثابت باستخدام أجهزة التحكم الأوتوماتيكي الحديثة • وهذه الأجهزة تحتفظ دائما بقيمة ثابتة للمتغير المراد التحكم فيه وذلك بضبطها عليه ، كما يمكن أن تغيرها حسب برنامج محدد يضبط عليه الجهاز أيضا • ولكن هذا البرنامج لا يكون دائما هو الأحسن ، فمثلا من المستحيل نظريا ان تدخل هذه الأجهزة فى اعتبارها - عند التحكم فى آلة احتراق داخلى - تأثير درجة الحرارة المحيطة والضغط الجوى وترسيب الكربون على جدران غرفة الاحتراق وتآكل الأجزاء المختلفة فى الآلة على ظروف تشغيلها • فمادام يمكننا ان نعمل فى هذه الحالة ؟ •

خطرت للعلماء فكرة : الا يمكننا ان نجعل جهاز التحكم يضبط نفسه باستمرار على أنسب الظروف للتشغيل ويبحث عن هذه الظروف المناسبة لكل عملية ؟ •

فى الحقيقة يفضل جدا تركيب مثل هذا المنظم فى قاطرة تعمل بالدیزل مثلا ، اذ ان ظروف تشغيل محركها تتغير دائما ، فتختلف طبيعة الأرض صعودا وهبوطا ، كما ينتهى النهار بحرارة ليحل محله الليل ببرودته • وهنا يؤثر أيضا على عمل المحرك - بل وهو أكثر

أهمية - ان نوع الوقود ليس ثابتا دائما \* ولهذا فانه من الصعب على سائق القطار المحافظة على أحسن الظروف للتشغيل ، ونعنى بها أقصى كفاية للمحرك والاحتفاظ بها مهما تغيرت الظروف \* وهنا يكون الجهاز الآلى الذى يمكنه البحث عن أحسن الظروف للتشغيل والمحافظة عليها مما لا يقدر بهال .

مثل هذا المنظم يؤقلم نفسه مع التغيرات التى تحدث فى ظروف التشغيل الداخلية والخارجية « مثل الانسان » .

وهنا نتساءل : ما الذى يقوم به الانسان للتحكم فى العمليات الدائمة التغير فى القاطرة المسيرة بالديزل مثلا ؟

يستطيع السائق ان يعادل تأثيرات الظروف المحيطة المختلفة على تشغيل المحرك بتغيير كميات الوقود والهواء الداخلى للمحرك ، أى بتغيير تركيب خليط الاشتعال .

فيلاحظ السائق العداد الذى يبين الكفاية ، وبمجرد ان تبدأ قراءة العداد فى الهبوط ، يحاول معادلة هذا الهبوط بتغيير كمية الهواء الداخلى للمحرك وذلك بضبط الصمام الخائق الذى يتحكم فيه .

فاذا استمرت الكفاية فى الانخفاض يحاول زيادتها بتحريك الصمام الخائق فى الاتجاه المضاد حتى تبدأ فى الزيادة ، ولكن الى أى حد يستمر فى ادارة الصمام ؟ واضح انه يستمر فى ذلك حتى تصل الكفاية الى نهايتها العظمى ثم تبدأ فى الهبوط ثانية . وهذا يعنى انه قد يتجاوز القيمة العظمى للكفاية فيعود الى ادارة الصمام الخائق فى الاتجاه المضاد قليلا ليضبطه على أحسن وضع ، وتكرر هذه العملية عدة مرات حتى يتأكد السائق من انه قد ضبط المحرك على أقصى كفاية .

وبين حين وآخر يعيد السائق بعنه عن أحسن كفاية نظرا لأن قيمتها تتغير بمضى الوقت ، ويتطلب هذا البحث دراية وخبرة .

ولكن حتى مع وجود الدراية والخبرة ، فان عملية الضبط اليدوية بطيئة جدا . وفى العمليات المقعدة أو السريعة لا يستطيع العامل ان يقوم بعملية الضبط بطريقة مرضية مهما كانت خبرته .

اذن ، هل يمكن ان نعهد بهذه العمليات الى آلة ؟ بالطبع ، بل انه قد صمم بالفعل جهاز تحكم جديد يحتوى على آلية تستجيب للاتجاه ، أو للاحساس بالتغير فى أية قيمة . وفى الحقيقة كان يطلق على أحد

الأجهزة التي تتبع التغير في الكفاية في أول جهاز تحكم باحث اسم  
« مرحل الاحساس » .

وليس من الضروري أن يعثر جهاز التحكم الباحث على أكبر قيمة  
للدالة المراد التحكم فيها ، بل يراد أحيانا أن يعثر على أقل قيمة مثل  
أقل استهلاك للوقود لسرعة معينة مثلا . ويسمى العلماء البحث عن  
أنسب قيمة سواء كانت الصغرى أم العظمى « بالبحث الأقصى » كما  
تسمى أجهزة التحكم من هذا النوع « أجهزة التحكم الأقصى » .

وكما كانت « السلحفاة » تبحث عن الضوء و « الفأر » عن أقصر  
طريق ، تبحث أجهزة التحكم الأقصى عن أنسب قيمة للدالة المراد التحكم  
فيها ، ويمكن استخدامها للاحتفاظ بمعدل استهلاك الوقود الذي يجعل  
مرجلا بخاريا يعمل في أحسن الظروف اقتصادا ، أو للمثور على أنسب  
سرعة لطيران طائرة ، أو لتحديد الظروف المثلى لعملية كيميائية أو لضبط  
حفارات البترول للحصول على أعلى كفاية في الحفر ولكثير من الأغراض  
الأخرى .

وتعتبر أجهزة التحكم الأقصى واحدة من أكثر الاتجاهات تقدمية  
في التطور الصناعي الفني . وهي - مثلها في ذلك مثل باقي أجهزة  
الضبط الذاتي والأجهزة « القابلة للتدريب » والأجهزة القادرة على  
الاختيار - من أولى نتائج التطبيق العملي لأساسيات السيبرنيات ، وهي  
تقلد إلى حد ما وظائف العقل البشري من حيث مقدراتها على الاختيار .  
ولكن حتى المكنات المزودة بأكثر الأجهزة اتقاناً لا تستطيع بأي حال  
أن تفكر تفكيراً خلاقاً جديلاً . ومهما وصلت إلى الكمال فإنها ما زالت  
مكنات صنعها الإنسان .



منذ زمن طويل ، دأب الإنسان على استخدام مصادر استطاعية  
للقدرة التي تزيد كثيراً على قدرة عضلاته . وقد يسيطر الآن على قوى  
جبارة ، بينما لا تستطيع عضلاته أن تؤدي عملاً يتطلب قدرة أكبر من  
عشر الحصان .

والسؤال الآن : هل يمكن صنع مكنات لها قدرة « ذهنية » تزيد  
على قدرة المخ البشري بنفس الدرجة ؟ آلات يمكنها أن تحل مسائل  
تفوق الذكاء الأدمي ؟

ان الحاجة لهذه المكونات قائمة بالتاكيد ، لأن المقدرات الذهنية  
للانسان محدودة مثل قوة عضلاته •

فاذا توصل الانسان في احدى مراحل تطوره الى كيفية الحصول على  
قدرة اضافية بالاستعانة بالمكونات التي يمكن ان ننظر اليها كمكبرات  
« قدرة » ألا يستطيع اذن في مرحلة أخرى من مراحل تقدمه أن يحمل  
على عاتقه مهمة صنع « مكبرات للمقدرة الذهنية » ؟ ويكون الغرض من  
مثل هذا المكبر زيادة المقدرة الادمية على التفكير زيادة كبيرة ؟ •

قد يمترض البعض بأن مقدرة المكنة في هذه الحالة يجب ان تزيد  
على مقدرة مصممها ، ولكن مهندسى العصور الوسطى كانوا يرون أنه  
لا يمكن لمكنة يسيرها الانسان أن تؤدي عملا أكثر مما يدخله اليها العامل ،  
أو بمعنى آخر لا يمكن لمكنة أن تكبر المقدرة الادمية • وقد كانوا على  
حق ، اذ أنهم لم يعرفوا الا أبسط الآليات مثل الروافع والبكر والعجلات  
المسننة ... الخ التي يمكنها أن تزيد من قوة الانسان ولكنها لا تتجاوز  
قدرته •

ولكن سرعان ما أثبت اخضاع البخار ثم استخدام القدرة الكهربائية  
بالذات ان مهندسى العصور الوسطى كانوا مخطئين • حقا لا يبدل  
الانسان شغلا كثيرا عندما يقذف الفحم في الفرن ، ولكن عندما يحترق  
الفحم ، تنطلق منه القدرة الكامنة فيه وهي تزيد كثيرا على تلك التي  
بذلها الوقود •

وكذلك مكينات الحفر المتحركة ومكينات النقل الآلية وباقي المكونات  
التي صنعها الانسان وسيطر عليها - كلها تكبر من قدرة عضلاته عددا  
ضخما من المرات •

وقد تجاوزت الآلات الحاسبة الالكترونية بالفعل مقدرة الانسان  
في مجال المجهود الذهني تجاوزا كبيرا ، وقد ساعدت بالفعل على حل  
كثير من المسائل كانت تعتبر سابقا غير قابلة للحل بسبب تعقيدها  
وضخامة العمليات الرياضية اللازمة لها •

وكذلك غالبا ما تستجيب أجهزة الطيار الآلى للتغيرات المفاجئة  
في ظروف الطيران بأسرع مما يستطيع الطيار الادمي •

وكذلك يمكن ذكر أمثلة أخرى من المكونات المشابهة التي يمكن  
تحقيقها في المستقبل ، مثل مكينات الفهرسة أو المراجع التي يمكنها  
اختزان كميات هائلة من المعلومات في ذاكرتها ثم انتقاء الفقرات المطلوبة  
بسرعة لا يستطيعها الانسان •

من هذا نرى انه حتى في عصرنا الحاضر ، تمكن الانسان بالفعل  
من تصميم عدد من المكونات التي يمكن اعتبارها الى حد ما « مكبرات  
للمقدرة الذهنية » •

## الإلكترونيات والصناعة والاقتصاد القومي

سنتناول في هذا الفصل استخدام العلوم الالكترونية فى الصناعة والاقتصاد القومى .

يعتبر الصمام الالكترونى أساس المعدات اللاسلكية والالكترونية المستخدمة فى الصناعة . كما تستخدم كثير من الأجهزة أيضا الخلايا الضوئية الكهربائية وأنابيب أشعة الكاثود . وتحتوى جميع تلك الأجهزة على نفس الأجزاء والمكونات وحتى المجموعات الكاملة التى درسناها عندما تناولنا أجهزة الإرسال والاستقبال اللاسلكية .

وسنحاول - بذكر بعض الأمثلة - بيان كيف أدى استخدام الصمامات الالكترونية وتقنيات اللاسلكى وأجهزته الى ثورة فنية فى كثير من فروع الصناعة .

### حلم يتحقق

هذه أجيال كثيرة ، كان الإنسان يحلم بأداة معدنية تكون فى غاية الصلابة ، كما تكون فى نفس الوقت قادرة على تحمل الصدمات والضربات . ولم تكن صناعة مثل هذه الأداة بالأمر الهين .

وقد وجد فى كثير من الحالات ، أنه على الرغم من إمكان صناعة منتجات صلبة جدا من الصلب ، إلا أنها كانت قصيرة ، سرعان ما تتشقق تحت تأثير الضربات التى لا يخلو منها أى عمل . فإذا لم تصنع الأداة صلبة فإنها تتحطم بالضربات جيدا ولكنها تكون لينة بدرجة لا تصلح معها لتكون أداة قطع .

وعلى الرغم من جميع المحاولات التي بذلت خلال الألف عام الماضية ، لم يمكن حتى وقت قريب صناعة أداة تجمع بين الصلادة المتديدة والقابلية لتحمل الطرق .

اذ أنه اذا أريد الحصول على خواص قطع جيدة لأداة قطع مثلا ، يجب أن يكون حدها القاطع صلدا ، أو بمباراة أخرى ، يجب أن يكون سطحها صلدا . ولكن اذا عوملت الأداة بالطرق المعتادة لتصبح صلدة ، فانها تسخن كلها وتصبح جميعها صلدة ، وبالتالي قصيفة \* ويمكن حل هذه المشكلة اذا وجدت طريقة لتسخين طبقة رقيقة من سطح المعدن بحيث يظل داخله باردا ، فبهذا يمكن أن تكون هذه الطبقة الرقيقة فقط صلدة ، ويظل داخل الأداة ليئا بشكل يسمح لها أن تتحمل الصدمات والضربات . وفى الأفران المعتادة ، تستمر عملية التسخين مدة طويلة . ونتيجة لهذا تنتقل الحرارة من السطح الى الداخل وتسخن الأداة بأكملها بشكل منتظم تقريبا . ولكن ما قد تحقق هذا الحلم أخيرا بفضل الصمامات الالكترونية القوية .

وكما نعرف جميعا ، اذا مر تيار كهربائى فى معدن ترتفع درجة حرارته ، فاذا سخن المعدن باستخلام تيار مستمر أو تيار منبع الاضائة المتردد قدره ٥٠ سايكل فى الثانية فان الموصل يسخن بأكمله بانتظام . ولكن اذا استخلم تيار متردد بتردد عال فان الصورة تتغير تماما . اذ لا يستطيع مثل هذا التيار أن يخترق المعدن الى عمق كبير بل يسرى فى طبقة رقيقة من السطح فقط ، وكلما زاد التردد قل سمك هذه الطبقة . وتسمى هذه الظاهرة بالظاهرة السطحية ، وعادة ما تكون هذه الطبقة السطحية التى تسرى فيها التيارات ذات التردد العالى رقيقة حتى أنه اذا استخلم مولد قوى ارتفعت درجة حرارة سطح المعدن الى درجة البياض قبل أن تجد الحرارة الوقت الكافى للتغلغل الى عمق معقول .

واذا ما أخذنا قطعة معدنية ابيض سطحها بالحرارة بينما داخلها بارد وغمسناها فى ماء أو زيت ، فان سطحها يصبح صلدا بينما يظل داخلها ليئا . وتصبح الطبقة الخارجية الصلدة شديدة المقاومة للبل ، بينما تقوم الطبقة الداخلية اللينة التى تتحمل الطرق بدور المحافظة على المعدن من الكسر .

وطريقة التصلية بالتردد العالى طريقة جديدة نسبيا ، ويرجع الفضل فى تطوير هذا الفرع من فروع الهندسة اللاسلكية الى العلماء الروس مثل ف . ب . فولوجين ، و ج . ي . باياتا و م . ج . لوزينسكى .

ويلاحظ ان ف • ب • فولوجدين من رواد الهندسة اللاسلكية .  
وقد صمم مولدا للتردد العالى استخدم لزمّن طويل كمنبع تغذية رئيسى  
لمحطات الراديو القوية • وبالإضافة الى أعماله الكثيرة فى الهندسة  
اللاسلكية واستخداماتها الصناعية ، عمل ف • ب • فولوجدين بنجاح  
فى فروع الهندسة الكهربائية المرتبطة بها ، وعلى وجه الخصوص تطوير  
المقومات المقومات الزئبقية التى تتزايد أهميتها يوما بعد يوم • وتقديرا  
لأعماله الكبيرة واختراعاته فى مجال الهندسة اللاسلكية ، فقد منحه رئيس  
أكاديمية العلوم فى الاتحاد السوفيتى ميدالية بوبوف الذهبية عام  
١٩٤٨ •

وقد انتشر استخدام التصليد بالتردد العالى فى الوقت الحاضر فى  
جميع فروع صناعات تشغيل المعادن وتصميم المكونات • ويستغرق تصليد  
الأجزاء مثل التروس والأعمدة المرفقية للمحركات ثوان قليلة ، وتم  
العملية بأكملها عادة أوتوماتيكيا ، الأمر الذى يمنع أى فقد ويضمن  
الانتظام التام للأجزاء •

ولا تستخدم مولدات التردد العالى فى التصليد فقط بل أيضا فى  
صهر المعادن باستخدام التيار الكهربائى ذى التردد العالى • ففى أثناء  
الحرب العالمية الأولى ، كان بابالكي يعمل فى تصميم وتطوير صمامات  
الراديو ذات القدرة العالية ، وكانت الصعوبة الرئيسية التى تواجهه هى  
إزالة الغاز من الأجزاء المعدنية المستخدمة داخل الصمامات ، وفى ذلك  
الوقت كانت جميع الصمامات ذات القدرة العالية تعمل بطريقة الإزالة  
المستمرة للغاز ، فكان الصمام يوصل بمضخة خاصة تفرغ غلافه من  
الغازات المنبعثة من المعدن بصفة مستمرة •

فإذا أريد للصمام ان يعمل بدون هذا التفريغ المستمر ، يجب  
إزالة الغاز تماما من أجزائه المعدنية قبل فصله عن المضخة بحيث  
لا يتبقى منه ما قد ينبعث بعد ذلك أثناء التشغيل • وأحسن طريقة  
لذلك هى تسخين الصمام فى فراغ مع امتصاص الغاز المتصاعد بصفة  
مستمرة • ولكن التسخين المعتاد فى فرن لا يساعد كثيرا فى هضمه  
الحالة ، لأن درجة الحرارة التى يمكن استخدامها محدودة بدرجة انصهار  
الزجاج ، كما وأن هذا الزجاج بدوره يحوق انتقال الحرارة الى الأجزاء  
المعدنية داخل غلاف الصمام نظرا لانخفاض موصليته وموصلية الفراغ  
داخله للحرارة •

وقد كانت فكرة بابا لكى عبقرية وغير معتادة بالنسبة لذلك  
الوقت ، فقد اقترح استخدام تيار عالى التردد بدلا من الفرن الذى كان

مستخدما للتسخين • ونحن نعرف الآن انه التيار على التردد يسخن اسطح المعادن ، ولكن ذلك كان يعد ثورة تقنية منذ ثلث قرن •

وهكذا مكنت طريقة بابالكسي من ازالة الغاز من الصمامات بشكل فعال ، كما مكنت من انتاج صمامات لا تحتاج للتفريغ أثناء التشغيل •

وقد عرفت الصمامات التي انتجت بهذه الطريقة باسم صمامات بابالكسي • وكانت عولها عاليا كما فاقت كل ما كان متوقعا لها •

وبزيادة خرج مولد التردد العالي الذي كان مستخدما في التسخين ، تمكن بابالكسي من صهر معدن في الفراغ ، وما زالت في مكتبته حتى الآن أول قطعة من الحديد صهرت في الفراغ باستخدام التيار على التردد •

وهذه الطريقة للصهر ذات أهمية خاصة في انتاج السبائك ذات الجودة العالية حيث يجب ألا يلامس المعدن لهب أو غاز •

وباستخدام مولد للتردد العالي جيد التصميم قدرته ١٠٠ كيلو وات يمكن صهر ١٠٠ كيلو جراما من المعدن فيما لا يزيد على ١٥ دقيقة •

وتستخدم أفران الصهر بالتردد العالي في الوقت الحاضر بكثرة لا في انتاج سبائك الحرارة العالية والصلب على الجودة فحسب بل أيضا في انتاج سبائك مغناطيسية خاصة وسبائك خفيفة •

فاذا استخدمت قوالب صب معدنية ( لا رملية كالاعتاد ) نجد ان المسبك الحديث المزود بأفران التردد العالي لا يشبه المسبك المعتاد الا قليلا • وفيه أيضا يقل مجهود الانسان وتصبح ظروف عمله أكثر صحية باستخدام تقنيات التردد العالي • وبهذا تزيد الانتاجية ويحسن الانتاج •

## تسخين بلا نار

لا يستخدم التسخين بالتردد العالي في الصناعات المعدنية وصناعة المكونات فقط ، بل أيضا في كثير من المجالات الأخرى ، فقد قام الصمام الالكتروني بثورة تكنولوجية في معظم فروع الصناعة التي يعتبر فيها التسخين مشكلة هامة وصعبة •

وأول مثال سنذكره هو انتاج الخزف ، فقد صنع الانسان الأوعية الفخارية منذ ما قبل التاريخ ، وكانت حرفة صانع الأوعية الفخارية تعتبر دائما حرفة صعبة كما كانت موضع الاجلال والاحترام •



ولكن ما هو الصعب في عمل صانع الأوعية الفخارية ؟ تشكّل الأوعية سواء منها الفخارية أو الخزفية وكذلك باقى المنتجات الخزفية من عجينة ، وليس هذا بالأمر الصعب ، ولكن الأمر الصعب هو ما بعد ذلك ، اذ يجب أن يجفف المنتج ويحرق ، أى يسخن الى درجة حرارة عالية ، ويكتسب الصلادة والقوة المطلوبين بعد أن يبرد . ومنذ قديم الزمن ، كان التجفيف يتم باستخدام حرارة الشمس . وكثيرا ما كانت تستخدم أفران خاصة تعمل بالهواء الساخن . ويستغرق مثل هذا التجفيف وقتا طويلا لأن المنتج يسخن ويجف عند السطح أولا بينما تتسرب الرطوبة الداخلية ببطء شديد ، ولهذا تجف الأجزاء الرفيعة قبل السمكية ، فيلتوى المنتج أو يتشقق نتيجة لعدم انتظام التجفيف بحيث يصبح غير صالح للاستعمال . ولتجنب هذا تبطل عملية التجفيف حتى تكون أكثر انتظاما . فمثلا تجفف الأوعية الخزفية الكبيرة فى عدة أشهر ، بينما يستغرق تجفيف العوازل الكبيرة المستخدمة فى خطوط نقل القدرة الكهربائية بجهد عال بهذه الطريقة عدة أسابيع ، وهكذا يكون الفقد كبيرا علاوة على ارتفاع تكاليف الانتاج والاستهلاك الكبير للوقود .

وقد مكن استخدام الصمامات الالكترونية من ايجاد تكنولوجيا جديدة تماما لتجفيف الخزف . وقد أزلت هذه الطريقة الفقد وخفضت تكاليف الانتاج ، ومكنت من اجراء هذه العملية أوتوماتيكيا .

وفى هذه الطريقة الجديدة ، تستخدم مولدات قوية للتردد العالي ، ولا تسخن المنتجات الخزفية فى هذه الحالة فى المجال المغناطيسى للمف المولد ، ولكن فى المجال الكهربائى للمكثف .

تتذبذب الايونات والذرات والجزيئات المكونة للمادة مع المجال الكهربائى المتردد فترفع هذه الذبذبات القسرية درجة حرارة المادة . ونحن نعرف الآن ان المجال الكهربائى عالى التردد لا يستطيع اختراق المعادن ، ولكنه يستطيع اختراق العوازل بسهولة . ونتيجة لهذا يسخن العازل الموضوع فى مجال كهربائى عالى التردد من جميع أجزائه بانتظام .

ولتسهيل ادخال المنتج الكهربائى للمكثف ، يصنع المكثف قريبا فى الشكل من مسند الكتب المهدنى ، وعندما يعمل المولد يتركز معظم المجال الكهربائى عالى التردد بين لوحى هذا المكثف . ويرفع المجال الكهربائى درجة حرارة الغالبية العظمى من المواد ارتفاعا كبيرا .

والى جانب التسخين الذى يحدث فى الخزفيات الجافة ، تتولد حرارة إضافية فى الخزفيات الرطبة نتيجة لعدد من الأسباب الأخرى ، وتكون غالبية هذه الحرارة الإضافية نتيجة لتعرض جزيئات الماء الموجودة فى العجينة للذبذبات التى ذكرناها من قبل ، فتتولد فى الماء كمية من الحرارة

أكبر من تلك التى تتولد فى الحزف نفسه . وهذا يسخن الماء الموجود فى مسام الحزف بسرعة فيتصاعد على شكل بخار .

وبهذه الطريقة يتم تسخين المنتجات الخزفية الى أن تجف بسرعة وبانتظام يمنع تشوهاها . وتوضع القطع المراد تجفيفها على ألواح معدنية تنزلق بين ألواح المكثف المتصلة بمولد التردد العالى . وعند تشغيل المولد تسخن القطع بسرعة كبيرة وتمتص كمية كبيرة من الطاقة ، وعندما يتبخر الماء الموجود فيها تكف القطع عن امتصاص ذلك الجزء من الطاقة التى كانت تمتصه جزيئات الماء من المجال مباشرة فى المرحلة الأولى من مراحل التجفيف .

وفى نهاية عملية التجفيف لا تمتص الطاقة من المجال سوى أيونات الحزف . وتكون قيمة هذه الطاقة أقل بكثير من تلك التى كانت تمتص فى بداية التجفيف . ويكون هذا إشارة الى أن التجفيف قد تم ويمكن إيقاف المولد . ويتم هذا عادة أوتوماتيكيا بإشارة من جهاز القياس الذى يقيس القدرة المستهلكة فى المكثف .

ولا يقتصر التسخين بالتردد العالى على إنتاج الحزفيات ، اذ يستخدم التيار عالى التردد فى تجفيف الشاى والطباقي تجفيفا جيدا ويحسن خواصهما بالمقارنة بالطرق المعتادة للتجفيف . كما يستخدم أيضا فى تجفيف الأذرة والبطاطس والقمح والقش ، وكذلك يستخدم التيار عالى التردد فى إذابة الدهون من المنتجات الجانبية فى اسطبلات الماشية وفى حفظ المأكولات وفى معالجة فيالج الحرير وانضاج الخبز وحتى فى طبخ الطعام .

ويستخدم التسخين بالتيار عالى التردد أيضا فى صناعة البلاستيك والمطاط ، وفى جميع هذه الحالات ، يمكن ميكنة الانتاج ميكنة تامة نتيجة لذلك .

وبهذا يزيد الانتاج زيادة كبيرة وتحسن ظروف العمل ونوع المنتجات وينخفض استهلاك الوقود .

ولهذه الطريقة فى التسخين أهمية خاصة فى صناعة الأخشاب ، فمن المعروف انه لا يمكن استخدام الخشب الا اذا كان جافا ، اذ سرعان ما تتقلص المنتجات المصنوعة من الخشب الرطب وتتشقق وتلف . وتستغرق عملية تجفيف الخشب الآن وقتا أطول مما تستغرقه عملية تجفيف الحزفيات . فنظرا لأنه لا يمكن تسخين الخشب الى درجات عالية من الحرارة ، فان عمودا من البلوط مساحة مقطعة عشرة سنتيمترات مربعة يستغرق حوالى ١٠٠ يوم لييجف باستخدام الهواء الساخن . وحتى مع

هذا لا يكون التجفيف منتظما ، وكثيرا ما تتشقق الأعمدة . لهذا السبب يجفف الخشب ذو الجودة العالية مثل ذلك الذى يستخدم فى الآلات الموسيقية فى درجة حرارة الغرفة لفترات تصل الى عدة سنين .

ولكن اذا وضعت نفس اعمدة البلوط فى مجال كهربائى عالى التردد فانها تجف فى ساعات قليلة دون أى تلف . وتجف الأنواع الأقل سمكا فى دقائق ، ويبدون أى تأثير على جودة الخشب .

ويستخدم تجفيف الخشب بالتيار عالى التردد فى مصانع الطائرات بكثرة ، وانه لمنظر جميل حقا أن ترى الألواح السميكة الرطبة تنطفئ بسحب من البخار الناتج عن الماء الذى فيها بمجرد تشغيل الصمام الالكترونى ، وبعد دقائق تخرج الألواح جافة تماما تفوح منها رائحة الراتنج لتستخدم فى صناعة أدق أجزاء الطائرات .

ويستخدم التسخين بالتردد العالى فى الطب أيضا ، اذ يتكون الجسم الأدمى من مجموعة هائلة من الجزيئات ، فاذا تعرضت هذه الجزيئات لمجال كهربائى عالى التردد بالقدرة اللازمة فانها تتذبذب فترتفع درجة حرارة أنسجة الجسم ، ولا ترتفع درجة حرارة الأنسجة الخارجية فقط بل أيضا الأجزاء الداخلية من الجسم فى نفس الوقت . وهذا له فائدة خاصة فى علاج التهابات الأعضاء الداخلية عندما تقفل قارورة الماء الساخن المعتادة .

## العيون والأيدى الكهربائية

تعتبر عملية اختبار أبعاد المنتجات وجودتها ، من أهم المراحل واشقها فى دورة الانتاج بالجملة فى عصرنا الحديث . وفى بعض الحالات تستغرق عمليات القياس زمنا يصل الى نصف زمن تصنيع المنتج وتشغيله .

كما وإن هناك صعوبات أخرى قد تكون أكثر خطورة ، مثل اختبار ما إذا كانت عملية تصليد عمود ادارة معين قد تمت بطريقة صحيحة ، فعادة ، اذا أريد اختبار مجموعة من أعمدة الادارة ، ينتقى عدد منها ويكسر فى مكانة اختبار خاصة . فاذا كانت القوة اللازمة للكسر فى حدود معينة يعتبر العمود جيدا ، ولكن هذا العمود قد كسر الآن ولا يصلح للاستعمال ، لذا يفترض أن جودة باقى الأعمدة قريبة من جودة ذلك الذى اختبر . ولزيادة الاطمئنان على الانتاج ، تختبر نسبة معينة من كل مجموعة ( أى تكسر ) وتسمى هذه الطريقة طريقة الاختبار الاحصائى المتلف .

ولا شك في أن هذه الطريقة تعطي شيئا من التأكيد بأن باقى الأعمدة بالمجودة المطلوبة ، ولكن هذا التأكيد لا يمكن أن يكون تاما ، كما أن لهذه الطريقة عيبا آخر وهو انه كلما أردنا أن نرفع من درجة التأكيد لزم اتلاف عدد أكبر من العينات . والطريقة المثالية بالطبع هي أن نتخير كل قطعة ونتركها صالحة للاستعمال . ويمكن أن يتم هذا فى كثير من الحالات باستخدام الصمامات الالكترونية .

فعند اختبار صلادة الأعمدة تستخدم تلك الخاصية التى مؤداها أن جودة العمود المصلد تعتمد على سمك الطبقة المصلدة وتجانسها . ويمتص الصلب المصلد طاقة من المجال المغناطيسى المتردد أكبر بكثير مما يمتصها الصلب غير المصلد . وبقياس الطاقة التى تمتص من مجال مغناطيسى الملف بواسطة دائرة تستخدم صماما الكترونيا ، يمكن تحديد سمك الطبقة المصلدة بسرعة ودقة ، وبالتالى يمكن معرفة مدى جودة التصليد . وفى هذه الحالة يستخدم مجال متردد بتردد صوتى لأنه أقدر على التغلغل الى عمق كبير داخل المعدن . وتستخدم هذه الطريقة للاختبار أيضا فى صناعة الأحذية لفرز القطع الحديدية التى تثبت فى النعال حسب درجة صلابتها ، وكذلك لاختبار صلادة أشرطة الصلب المستخدمة فى مكينات ندف القطن .

ولنذكر مثلا آخر ، يجب عند دلفنة الأشرطة المعدنية مراقبة سمك الشريط بصفة مستمرة وضبط المسافة بين الدلافين كلما لزم الأمر ، وبالطبع ليس من المناسب قياس شريط متحرك بالوسائل المعتادة . أما إيقاف مكنة الدلفنة لإجراء القياس فأمر مستبعد .

ولكن الصمام الكترونى يمكن من حل المشكلة الصعبة ببساطة وبشكل يمكن الاعتماد عليه . ويتكون أبسط الأجهزة التى يمكن أن تقوم بهذا العمل من مذبذب منخفض القدرة يولد ذبذبة ترددها ثابتة بواسطة بطارية (٩) وجهاز استقبال . ويتكون مكثف دائرة الرنين فى جهاز الاستقبال هذا من لوحين بينهما حيز هوائى . ويثبت هذا المكثف فى مكنة الدلفنة ، بحيث يمر الشريط المراد دلفنته فى الثغرة الموجودة بين اللوحين بدون أن يلمس أيهما . فعندما يتغير سمك الشريط تتغير سعة المكثف فتتغير موالفة جهاز الاستقبال . وتتغير موالفة جهاز الاستقبال تتغير شدة الإشارة المستقبلة من المذبذب الممل . ويوصل خرج جهاز الاستقبال بالجهاز الذى يتحكم فى الدلافين . وبهذا يتغير وضع الدلافين إذا تغير سمك الشريط بحيث يظل ثابتا فى الحدود المطلوبة .

---

(\*) سرعة الزيد عن التحكم فى الذبذبات بواسطة بطارية - انظر الفصل الثانى .

وتستخدم نفس الطريقة فى التحكم فى سمك الأشربة المطاطية ،  
وسمك أشربة الورق ودرجة الرطوبة بها وفى كثير من الحالات الأخرى  
المشابهة .

وباستخدام الصمامات الالكترونية مع الخلايا الضوئية يمكن توسيع  
مجال استخدام هذه الأدوات فى أغراض التحكم الآلى .

فمثلا يزيد الفقد فى الوقود زيادة كبيرة اذا كان احتراقه فى الأفران  
الكبيرة غير تام كما يتلوث الجو بغازات ضارة . ويمكن التحكم فى الاشتعال  
باستخدام خلية ضوئية ، فتوضع خلية ضوئية ومصباح كهربائى بحيث  
يمر ضوء المصباح فى الغاز العادم قبل أن يصل الى الخلية الضوئية .  
وبعد تكبير هذا التغير فى تيار الخلية بالموائى الالكترونية تكبيرا مناسباً  
يمكن استخدام الإشارة الناتجة للتحكم فى تيار الهواء .

وتستخدم نفس الطريقة للتحكم فى نقاء الماء فى محطات تنقية الماء  
الكبيرة اذ تكتشف أقل عكارة فى الماء فوراً باستخدام الخلايا الضوئية  
وترسل إشارة الى لوحة التحكم . ويعمل كثير من أجهزة قياس العكارة  
( أجهزة قياس درجة شفافية المحاليل والغازات ) بهذه الطريقة .

وتعتبر الأجهزة التى يمكنها قياس أشعة الضوء باستخدام الخلايا  
الضوئية من الأجهزة ذات القيمة العظيمة فى اختيار دقة أجزاء المكنات .  
اذ بتغير أبعاد أجزاء المكنة عن القيمة المسموح بها تتغير أبعاد الثغرة المتكونة  
بينها . ويتغير أبعاد هذه الثغرة تتغير كمية الضوء المارة خلالها فيستجيب  
جهاز الخلية الضوئية لهذا التغير ويرسل إشارة تدل على حدوث خطأ أو  
تلف . وبمساعدة آلية التشغيل ، يمكن لهذه الأجهزة أن تفرز الأجزاء  
أوتوماتيكياً أو أن توافق بين الأجزاء التى تعمل مما مثل الاسطوانات مع  
الكباسات أو الأعمدة مع المحامل . وهناك جهاز يستعمل الخلية الضوئية  
يسمى «جهاز قياس السطوع» يقيس درجة سطوع الفراء ، وهو فى الواقع  
يقيس درجة سطوع الضوء المنعكس من الفراء .

وهنا قد يسأل سائل : هل يمكن استغلال الخلية الضوئية فى  
تحديد لون منتج ما ؟ نعم . ولكن يجب وضع قطعة ملونة من الزجاج  
( مرشح ضوئى ) بين المنتج والخلية الضوئية . ويمكن باستخدام جهاز  
قياس شدة اللون ذى الخلية الضوئية تحديد تركيب الغازات والسوائل  
عن طريق الضوء الذى تمتصه .

وكما هو معروف ، يتغير لون الأجسام المسخنة بتغير درجة حرارتها .  
وكثيراً ما يقال « ساخن لدرجة الاحمرار » أو « ساخن لدرجة البياض » .

وباستغلال مقدرة الخلية الضوئية على الاستجابة للألوان ، أمكن تصميم  
بيرومتر سطوح ، وهو جهاز الكترونى يقيس درجات الحرارة • و يقيس  
البيرومتر ذو الخلية الضوئية - كما يدعى هذا الجهاز - درجات الحرارة  
العالية عن طريق لون أو سطوح الجسم المسخن •

ويستخدم أنبوب أشعة الكاثود الذى عرفنا استخداماته فى التلفزيون  
والرادار فى كثير من الأجهزة الأخرى ، ومن هذه الأجهزة جهاز يعرفه  
الأطباء جيداً • ها نحن الآن فى غرفة عمليات يسودها الصمت العميق  
اذ تجرى فيها إحدى عمليات القلب المعقدة ، وينصت الجراح بانتباه  
لضربات قلب المريض ، ولكن هناك « اذنا » أكثر حساسية هى ذلك  
الجهاز الالكترونى الذى يتتبع على شاشته التيارات الكهربائية المتولدة  
أثناء خفق القلب • وحيث يلزم قياس الزمن بكسور الثوانى لا يمكن  
الاستغناء عن هذا الجهاز ، وبوساطته تمكن رؤية أى تغير فى نشاط  
القلب - ويظهر هذا على شكل تغير فى شكل الرسم الظاهر على شاشة  
الأنبوب - قبل أن يصبح خطراً على المريض • وباستخدام هذا الجهاز فى  
التشخيص أيضاً ، يتمكن الطبيب من تشخيص مرض القلب فى دقيقة ،  
اذ لا يستطيع هذا الجهاز تسجيل الظواهر الكهربائية التى تصاحب عمل  
القلب فحسب ، بل أيضاً الظواهر الكهربائية المصاحبة لعمل باقى  
الأعضاء • وباستخدام هذا الجهاز تمكن مراقبة المنحنيات الخاصة بكمية  
الأكسجين فى الدم وضغط الدم وباقى البيانات الأخرى • وكذلك صمم  
للأغراض الطبية أجهزة رسام المخ الكهربائى (وهى أجهزة لدراسة التيارات  
الحويوية المتولدة فى المخ ) ، وأجهزة لدراسة قابلية الأعصاب والعضلات  
للانارة بالكهرباء وأجهزة لقياس معدلات الاستجابة للمؤثرات  
المختلفة ... الخ • وكان من آخر ما تم فى هذا المجال تصميم جهاز  
يرسم على شاشة أنبوب أشعة المهبط تمثيلاً مجسماً للعمليات الكهربائية  
للقلب وقد سمي هذا الجهاز رسام القلب المجسم • وهو يساعد الأطباء  
على تقييم الظواهر التى تطرأ على القلب تقييماً أدق •

كيف يمكن النظر الى ما يدور داخل آلة أو محرك حيث لا نستطيع  
اليد الآدمية أو العين أن تصل ؟ فمثلاً كيف يمكن مراقبة تآكل الأجزاء  
المتحركة ببعضها ، ببعض فى محرك طائرة ؟ كيف يمكن تحديد أى من جزئين  
متناظرين من أجزاء محرك مصنوعين من سبيكتين مختلفتين أكثر مقاومة  
للتآكل ؟ كان هذا يتم قديماً بالمقارنة وذلك باختيار محرك لزمان معين ،  
باستخدام الجزء الأول أولاً ، ثم باستخدام الجزء الثانى • ولكن لما كان  
محرك الطائرة يستهلك حوالى ٣٠٠ كيلوجراماً من الوقود فى الساعة ،  
فاننا نفهم بسهولة لماذا يعتبر مثل هذا الاختبار غير اقتصادى بالمرءة •

ولكن حل هذه المشاكل باستخدام الأجهزة الحديثة ذات الصمامات الالكترونية والنظائر المشعة . ويتم هذا بالطريقة التالية : يثقب الجزء المراد اختياره ثقباً صغيراً ويملاً بمادة مشعة ، وعندما يعمل المحرك يبلى ذلك الجزء بما فيه من تلك المادة المشعة ، ويحمل زيت التشحيم دقائق من هذه المادة الى حيث يكتشف بواسطة عداد خاص . وترسل النبضات الكهربائية من هذا العداد الى جهاز عد الكتروني يبين معدل بلى الجزء . وتستخدم طريقة مشابهة في تحديد الجودة النسبية للمواد المستخدمة في صناعة أجزاء متناظرة . ويكفي هنا اختبار هذه الأجزاء لزمان قصير جداً ، ثم يرى في أى الحالات كانت دقائق المادة المشعة في الزيت أكثر . كما يمكن أيضاً استخدام هذا الجهاز للانداز من تآكل الأجزاء الهامة من المكينات مثل أجزاء معينة من ترين ، فإذا ظهرت دقائق مشعة في الزيت ، يرسل الجهاز إشارة بضرورة إجراء إصلاحات عاجلة .

وتسمح الصمامات الالكترونية بالتعاون مع النظائر المشعة للانسان بالتغفل في أحد الميادين المخفية الأخرى ، وتقصد بذلك النظر داخل النباتات وتتبع التفاعلات الكيميائية الحيوية التي تتم في مراحل نمو النبات المختلفة . ويتم هذا بإضافة مواد مشعة الى السماد الذي يذوى به النبات فيمتصها . وباستخدام جهاز حساس للاشعاع الذري يمكن الآن بسهولة اكتشاف الأماكن التي اختزنت فيها المادة الكيميائية التي أعطيت للنبات وكميتها .

وقد مهد استخدام مثل هذه الأجهزة الطريق لوسائل أخرى لمكافحة الآفات الزراعية اذ لو احتوت المبيدات الحشرية التي ترش على النباتات على أحد النظائر المشعة لأمكن معرفة الجرعة اللازمة بالضبط لإبادة الآفة إبادة تامة . وتستخدم وسائل مشابهة لاكتشاف أماكن اختزان المواد التي يتناولها الانسان والحيوان ، وعند تحليل مفعول الأدوية المختلفة .

وتستخدم مصانع دلفنة الصلب وكذلك مصانع الأسلاك والكابلات أجهزة بلا ملامسات لقياس سمك أشربة الصلب والأسلاك . وتقيس هذه الأجهزة التي تعتمد على الالكترونات ، واستخدام النظائر المشعة تسار الاشعاع الذري الذي يمر في شريط الصلب ، وتصلح هذه الطريقة لقياس الألواح المعدنية السميكة كما تصلح لقياس أشربة من الصلب يصل سمكها الى خمسة أجزاء من الألف من المليمتر ، وكذلك للأشكال المختلفة من المعادن .

وكذلك تمكن هذه الطريقة من قياس سمك الواح زجاج النوافذ أثناء سحبها من الزجاج المنصهر . ولا يحتاج جهاز القياس الى لمس اللوح ،

ولهذا الامر أهمية خاصة عند قياس السمك فى الأماكن التى يكون اللوح فيها لا يزال ساخنا وليتا ولا يمكن لمسه .

وكذلك تستخدم أجهزة مشابهة فى الصناعة الخفيفة لمراقبة انتظام شريط من القطن أو قياس سمك الطبقة العازلة للماء المتكونة على القماش المصنوع من القطن عند صناعة القماش ابريتى ، وفى كثير من الحالات المشابهة .

وهاك مثالا لجهاز مشابه يسمى الراديو متر ، ويستخدم فى قياس سرعة الهواء أو الغازات أو الماء أو الوقود فى المنشآت الصناعية ، وكذلك سرعة الدم فى الكائنات الحية ، تضاف فيه كمية صغيرة من احدي النظائر المشعة الى المادة المتحركة وتسير معها . ويوضع جهاز على مسار المادة فى نقطة بعيدة نوعا ما لينين لحظة مرور النظير المشع . وتسجل هذه اللحظة ولحظة اضافة المادة المشعة على شاشة أنبوب أشعة مهبط على شكل انحراف فى الشعاع الالكترونى . وبملاحظة المسافة بين الانحرافين ( النبضتين ) على تدريج الأنبوب ، كما فى الرادار يمكن معرفة سرعة المادة المتحركة .

ولا تساعد الضمانات الالكترونية على النظر الى المناطق المختلفة عن العين فحسب بل أيضا على رؤية الدقائق الصغيرة التى لا ترى بالعين المجردة . وقد عرف منذ زمن طويل ، أن المواد تتكون من جزيئات وذرات ، ولكن لم يتمكن الانسان من رؤية الجزيئات - والكبير منها فقط الذى يتكون من آلاف الذرات - الا قريبا . وقد تم هذا باستخدام الميكروسكوب الالكترونى . وقد وجد بعد ذلك أن الجزيئات الكبيرة ليست هى النهاية بالنسبة للالكترونات ، اذ تم تصميم جهاز أكثر حساسية وهو جهاز الاسقاط الايونى الذى تمكن بوساطته رؤية الجزيئات الصغيرة أيضا . وتبلغ قدرته على التكبير من مليون الى مليونى مرة . وقد مكن هذا الجهاز الانسان من رؤية تركيب النسق البلورى للمعادن وذرات المواد الكيميائية مثل الاكسجين والباريوم لأول مرة فى التاريخ . وآخر ما وصل اليه العلم فى هذا المجال هو الميكروسكوب البروتونى . ويمكن بوساطته رؤية الأشياء التى لم تكن رؤيتها ممكنة حتى بجهاز الاسقاط الايونى . ودراستها .

### الالكترونيات والاسلكى فى الطب

غالبا ما يكون تأثير الاشعاع النبضى على الانسان ( ونقصد بهذا الاشعاع ذا الكمية والتردد المحدودين ) نافعا جدا . فقد اكتشف العلماء أنه اذا تعرض مريض بارتفاع ضغط الدم لمجال منبعث من مولد يشع



طاقة بتردد قدره ٥٠ مليون ذبذبة في الثانية في نبضات طولها عشرة أجزاء فقط من مليون من الثانية ، فإن مثل هذا الاشعاع يخفض ضغط دمه ودرجة حرارته بشكل واضح ويسلمه للنوم .

وقد علق الأطباء أخيرا أهمية عظمى على علاج مختلف الأمراض بالنوم . اذ أن للنوم خواص علاجية ، وغالبا ما يكون مثل هذا العلاج مؤثرا جدا . وقد وجد العلماء أن تعريض الجهاز العصبي الآدمي لنبضات ضعيفة شكل موجتها مربع وتردها من ذبذبة واحدة في الثانية الى أربعين يولد النوم . وليس لهذا النوم المولد اصطناعيا أية آثار جانبية ضارة .

كما اكتشف أن النبضات ذات المدة الطويلة والتردد العالي لها تأثير مخدر على الكائن الحي ، فهي تسبب « تخديرا كهربائيا » . وكذلك تثير النبضات ذات الأشكال الأخرى ( أسنان المنشار مثلا ) العضلات وتجعلها تتقلص . وهذه الظاهرة هي أساس التدريبات الكهربائية للعضلات . وبهذا ساعدت مولدات النبضات اللاسلكية على خلق طريق علاج للانسان جديدة تماما .

ويجدر بنا أن نذكر أيضا جهازا الكترونيا جديدا آخر قد يصبح من الأدوات المساعدة التي لا يمكن للطبيب الاستغناء عنها ، ألا وهو مجلس لاسلكي صغير لدراسة معلة الانسان وامعائه دراسة مفصلة . يتطلع المريض هذا المجلس كحبة الدواء فيمر من المرى الى المعلة ومنها الى الأمعاء مرسلا في أثناء مروره اشارات تبين قيم الخواص الطبية الهامة مثل الضغط ودرجة الحمضية ... الخ .

ويستقبل جهاز لاستقبال الموجة القصيرة ، الاشارات التي يرسلها هذا المرسل غير العادي . وتسجل على شريط راسم الذبذبات الكهربائي . وتساعد المنحنيات المسجلة على هذا الشريط ، الطبيب على تشخيص المرض . وهذا المجلس اللاسلكي أحد أعاجيب الهندسة حقا ، اذ توضع جميع أجزاء هذا المرسل الترانزستور في غلاف من البلاستيك طوله ٢٤ ملليمتر فقط وهذا يعطي فكرة جيدة عن حجم هذه الأجزاء ، ويحتوى الغلاف أيضا على بطارية لتغذية المرسل .

وقد فتحت الأبحاث الخاصة باستخدام الآلات الحاسبة الالكترونية ذات « الذاكرة » الهائلة والقادرة على اتخاذ القرارات المنطقية آفاقا واسعة في التشخيص الطبي .

## الأوتومية الالكترونية

لا تشترط الأوتومية الالكترونية استخدام الآلات الحاسبة الالكترونية: بل انه في عدد من الحالات يكون من الأنسب والأرخص استخدام أجهزة الالكترونية بسيطة مصممة لتؤدي عمليات محددة - وسنأخذ مثالا على ذلك كاشفات المعادن وماسكات الشذرات المستخدمة في صناعات المعادن اللاحديدية - يطحن الخام - وهو المادة المنتجة للمعدن - في مكينات طحن خاصة وتنسبب قطع المعدن الكبيرة التي قد تكون ضمن الخام في تلف هذه المكينات - ولوقاية المكنة من الأجزاء المعدنية الكبيرة ابتكر جهاز خاص هو كاشف المعدن الالكتروني - ويتكون الجهاز من مكبر الكتروني تتصل بداخله دائرة موالفة - ويوضع الملف الخارجى للدائرة الموالفة تحت الحزام الناقل الذى يحمل الخام الى مكنة الطحن ، فإذا كانت هناك قطعة من قضيب أو مسمار أو أى شئ معدني آخر فى الخام يتغير حث الملف بمرورها قريبا منه - وهذا يغير بسوره تردد زينب الدائرة الموالفة ، ويغير بالتالى من شدة الإشارة الداخلة الى المكبر فيشغل المرحل المتصل بخرجه - وهذا المرحل اما أن يوقف الناقل أو أن يقلل دائرة مغناطيس كهربائى قوى يلتقط الجسم المعدني بعيدا عن الخام - وتعمل ماسكات الشذرات بنفس الطريقة .

وقد استخدمت الأوتومية الالكترونية على نطاق واسع في أول محطة أنفشت في العالم لتوليد القدرة الكهربائية بالذرة وهى فى الاتحاد السوفيتى - وفيها تعمل الصمامات الالكترونية فى مراكز رئيسية فتتحكم فى تشغيل مفاعل اليورانيوم وهو مصدر الطاقة الذرية ، وتراقب شدة فيض النيوترونات وإشعة جاما وباقى الإشعاعات المنبعثة منه ، وتراقب المبادل الحرارى والحيز المحيط بالمفاعل - كما تعطى الأوامر التى تشغل الآليات التى تنظم أماكن قضبان اليورانيوم والضغط والحرارة ومعدل سريان سوائل التبادل الحرارى وسوائل التبريد - كما تشارك الصمامات الالكترونية فى تلك المهمة النبيلة ، ألا وهى المحافظة على صحة العاملين فى المحطة ، فتراقب كمية الإشعاع فى الهواء والماء وحوايط المبنى وأرضيته وتضمن أمان العمل فى المحطة أمانا تاما .

وقد مكنت الأجهزة الالكترونية من تحقيق احدى أمنيات الانسان الكبيرة ، ألا وهى التحكم من بعيد ، وليس بعيدا ذلك اليوم الذى ستنتقل فيه لأول مرة فى تاريخ البشرية أول محطة فضاء ( صاروخ ) من الأرض فى أول رحلة الى القمر - وبالطبع سيكون أول صاروخ بلا ملاحين (★) ،

(★) كتب هذا الكلام فى سنة ١٩٥٩ - لترجم

وسيتحكم فيه أوتوماتيكيا باللاسلكي من الأرض ، وعلى الرغم من عدم وجود انسان في الصاروخ فان الناس على الأرض سيحصلون على جميع المعلومات اللازمة عن حالة الصاروخ مثل ظروف الطيران و « مناخ » الطبقات العليا من الجو والفضاء الخارجى وشدة الاشعاع الكونى . وسترسل جميع هذه المعلومات الى الأرض أوتوماتيكيا عن طريق أجهزة تكون الصمامات الالكترونية واشباه الموصلات من أهم مكوناتها . وتحمل فكرة التحكم من بعيد باستخدام الأجهزة اللاسلكية فى طياتها الأمل فى امكان القيام برحلات طويلة المدى بطائرات لا يقودها انسان تحمل الشحنات ذات الطبيعة العاجلة فى المستقبل القريب ، وكذلك ظهور المركبات ذاتية التوجيه . وقد صنع قريبا جرار موجه باللاسلكي . وتتكون معدات التحكم من بعيد المركبة فيه من محطة لاسلكية صغيرة وجهاز ارسال يعمل ببطارية ويرسل موجة ترددها ٢٧ر١٢ كيلوساىكل فى الثانية . ويستطيع هذا الجرار أن يغير آلاته من وضع الحمل الى وضع التشغيل وبالعكس ، كما يستطيع أن يدور يمينا ويسارا .

وقد مكنت التليمترية ( القياس عن بعد ) من انشاء محطات ارصاد جوية فى أماكن نائية ترسل المعلومات منها بأجهزة القياس اللاسلكية . وكذلك يمكن استخدام فكرة القياس عن بعد فى تصميم جهاز يساعد على هبوط الطائرات آليا عندما ينخفض مدى الرؤية الى الصفر . ولا شك فى أن القياس عن بعد باللاسلكي ، وكذلك أجهزة التحكم اللاسلكية ستصبح من الأدوات الهامة فى تشغيل محطات الضخ الكهربائية ومحطات الري والتحكم فى توزيع الماء والصرف ، وكذلك التحكم فى محطات القدرة فى المزارع . وقد استخدمت الصمامات الالكترونية بنجاح فى مجالات العلم والهندسة والاقتصاد القومى .

وكما رأينا من الأمثلة السابقة ، تضع تقنيات اللاسلكي امكانيات جبارة فى خدمة الميكنة فى كل فروع الصناعة .



## أشباه الموصلات

أصبح الصمام الالكتروني المفرغ الذى ظهر منذ حوالى أربعين سنة فقط ضرورة فى كثير من ميادين العلم والهندسة والصناعة ، ولكنه مازال بعيدا عن الكمال ، فانه قابل للكسر وحساس للاهتزاز والصدمات ، كما يستهلك الكاثود الساخن كمية كبيرة من الطاقة ، كما يحده تصميمه المقيد من صناعته فى أحجام صغيرة . ونتيجة لهذا نجد أن المعدات اللاسلكية تكون عادة كبيرة وتشغل حيزا لا بأس به ، وهذا أمر ليس بالهام بالنسبة لأجهزة الراديو والتليفزيون المنزلية ، ولكن هناك أجهزة مثل الآلات الحاسبة الالكترونية مثلا تحتاج لعشرات الآلاف من الصمامات ، وكثير منها يشغل عدة حجرات أو حتى طوابق . أما بالنسبة للأجهزة الالكترونية الموضوعة فى الطائرات والسيارات ، ناهيك بتلك الموضوعة فى سفن الفضاء والأقمار الصناعية ، فانه من أهم الأمور أن يكون حجمها ووزنها واستهلاكها الكهربائى أصغر ما يمكن ، كما يجب أن تكون مقاومتها للاهتزاز أكبر ما يمكن .

وحتى يكون الحجم والوزن صغيرين الى أقصى حد ، فانه يجب البحث عن حلول جديدة تماما .

وهنا نهضت الفيزياء لافقاد الالكترونيات ، فاقترحت مادة يمكن استخدامها فى صناعة أداة تشبه فى عملها الصمام الالكتروني ، ويشغل « الصمام الثلاثى » المصنوع من هذه المادة فراغا قدره ٠.١ر سنتيمترا مكعبا فقط ، فهو أصغر بكثير من صمام ثلاثى له نفس القدرة . وليس لهذه « الصمامات الثلاثية » الجديدة ألواح ولا كاثودات ولا شبكات ولا أى عنصر من العناصر الأخرى التى توجد عادة فى الصمامات المفرغة ، ولكنها تستطيع توفير الذبذبات الكهربائىة وتكبيرها كالصمامات الثنائية والثلاثية المفرغة .

كذلك ليس لهذه الأداة كأثود يحتاج لقدرة اضافية لتسخينه ،  
ولهذا ينخفض الاستهلاك الكلى للجهاز انخفاضاً كبيراً .

من أى شئ تصنع هذه « الصمامات » غير العادية ؟ : من المعروف جيداً أن العلم والهندسة قد استخدما على نطاق واسع كلا من المعادن التى تعتبر موصلات جيدة للتيار الكهربائى والمواد العازلة التى لا توصله ، كما درست خواصها دراسة واضحة . ولكن المعادن والمواد العازلة ما هما الا طرفان فى سلسلة واحدة ، وبينهما مجموعة كبيرة من أشباه الموصلات التى تتوسط فى خواصها المعادن والمواد العازلة ، وتشتمل أشباه الموصلات على معظم أكاسيد وكبريتات المعادن ومركبات معدنية أخرى والجرافيت والسيلينيوم والجرمانيوم والسيليكون والتلورىوم وعناصر أخرى .

وعلى الرغم من أن نسبة لا بأس بها من العناصر المعدنية تدخل ضمن أشباه الموصلات الا أنها ظلت لوقت طويل بعيدة عن أعين العلماء . وكانت بعض الخواص الممتازة لهذه المواد مجهولة مما ساعد على أن تظل بعيدة عن الأنواء . ولم يتجه العلماء الى ميدان أشباه الموصلات الذى لم يكن يعرف عنه الا القليل الا فى العقود الأخيرة فقط ، وجاء هذا نتيجة لحاجة الهندسة اللاسلكية لأدوات جديدة ، ولحاجة الصناعة لمواد جديدة ذات خواص معينة .

وقد عرفنا من قبل أن أ. س. هوبوف ومعاونيه قد استخدموا فى عام ١٩٠٠ كاشفات شبه موصلة لاستقبال الإشارات اللاسلكية والاستماع اليها باستخدام سماعات التليفون . وتحول هذه الكاشفات التيار المتردد الى تيار دى اتجاه واحد ، أى تقومه ، وهذه العملية ضرورية حتى يمكن الاستماع الى الاشارة اللاسلكية فى السماعات .

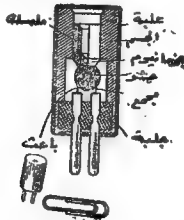
وكانت الكاشفات الأولى تصنع من البلورات الطبيعية مثل الجالينيت والبيريت والزينكيت والستانيت والكابوراندام وبيريت النحاس وبللورات أخرى . وكان الكاشف البللورى فى تلك الأيام يتكون من وعاء معدنى توضع البللورة داخله وزنبرك للتلامس دى طرف مدبب ( شارب القطعة ) . وللحصول على أحسن كشف ، كان من الضرورى تحريك شارب القطع على سطح البللورة للبحث عن نقطة حساسة ، وبالطبع لم تكن هذه الطريقة بالأمر المريح أثناء الاستقبال .

وفى سنة ١٩٢٢ ، اكتشف و. ف. لوسيف الذى كان يعمل فى معمل نيشنى نوفجورود اللاسلكى ، امكانية استخدام الكاشفات البللورية

فى توليد الموجات اللاسلكية وتكبيرها • ولكن نظرا لأن الصمامات الالكترونية كانت فى ذلك الحين فى ذروة دخولها المنتصر لميدان الالكترونيات، فان التجارب الأولى لاستخدام أشباه الموصلات لم تجنب الانتباه الا قليلا • ومع ذلك فقد ظلت الكاشفات البلورية مستخدمة لزم من طويل فى أجهزة الاستقبال البسيطة حتى تغلبت الصمامات الالكترونية عليها تماما ومكنت بذلك من صنع أجهزة استقبال أكثر تعقيدا وتكبرا وأكبر قدرة •

ثم أهملت الكاشفات البلورية ظلما •• حتى الحرب العالمية الثانية ، عندما أجبر انتقال الرادار الى استعمال الموجات السنتيمترية المهندسين على تصميم مكونات يمكنها أن تحل محل الصمامات الالكترونية فى هذا النطاق من الترددات •

وتتلخص المشكلة فى أن استخدام الصمام الالكترونى فى نطاق الترددات فوق العالية محدود بالقصور الذاتى للالكترون وبتأثير السعة بين أقطاب الصمام وبعضها • وفى أثناء البحث عن حل ، تذكر العلماء الكاشفات البلورية الأولى • وقد أدى هذا الى تطويرها الى انواع أرقى • فظهر أولا الكاشف السيليكونى ثم الكاشف المصنوع من الجرمانيوم • وكان اول ما ظهر الثنائى ذو نقطة التلامس ، وهو يشبه من حيث المبدأ الكاشف القديم ولكنه يمتاز بصغر الحجم ومثانة التصميم وبأنه لا يحتاج فى تشغيله الى أى ضبط آخر • ثم ظهر بعد ذلك ما يسمى بالنوع ذى الوصلة وبه نفس المميزات ولكن لا توجه به نقطة تلامس • ثم ظهر من عدة سنوات أول طراز من الثلاثى شبه الموصل الذى سمي الترانزستور وكان لأول نوع نقطتا تلامس معدنيتان يلمسان لوح الجرمانيوم فى نقطتين قريبتين جدا ، الواحدة من الأخرى ( شكل ٤٠ ) • وكانت هاتان النقطتان والقاعدة



( شكل ٤٠ ) : الترانزستور ذو نقطة التلامس

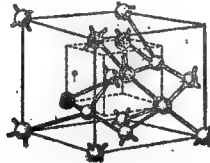
المعدنية التي تحمل البللورة شبه الموصلة هي أطراف الثلاثي . ويسلط على إحدى نقطتي التلامس جهد موجب صغير وتعمل بطريقة تشبه الكاثود في الصمام الالكتروني . وتسمى هذه النقطة الباعث . ويسلط على النقطة الثانية جهد أكبر بالنسبة للقاعدة وتسمى المجمع وتشبه في عملها لوح الصمام الالكتروني . وتعمل القاعدة المعدنية للترانزستور عمل قطب التحكم . ويمكن أن تعمل الترانزستورات ذات نقط التلامس التي ظهرت في السنين الأخيرة بترددات حتى ١٠٠٠ ميجاسيكل في الثانية . ثم ظهرت بعد هذا النوع أنواع أخرى من الترانزستور صممت بالترانزستور ذي الوصلة ، والترانزستور ذي الوصلة النامية . وكانت في البداية لا تستطيع أن تعمل إلا بترددات منخفضة ، ولكنها شقت طريقها بعد ذلك الى الموجات الديسيمترية .

## الالكترونات والثقوب

تنشأ الخواص الممتازة غير العادية لأشباه الموصلات من الطريقة التي يمر بها التيار الكهربائي خلالها .

كيف يمر التيار الكهربائي في الجرمانيوم الذي يعتبر مثالا نموذجيا لأشباه الموصلات ؟ ينتمي الجرمانيوم - كما نعلم - الى المجموعة الرابعة في النظام الدوري للعناصر ، وبالتالي فان له أربعة الكترونات تكافؤ يمكنها الاشتراك في التفاعلات الكيميائية وعمليات التوصيل الكهربائي .

وعندما تتكون بللورة الجرمانيوم ، تترتب الذرات ( كما تفعل ذرات باقي الأجسام البللورية ) بنظام معين ثابت مكونة نسقاً بللوريا ( شكل ٤١ ) . ويتكون النسق البللوري للجرمانيوم بحيث تكون كل ذرة



( شكل ٤١ ) : تركيب النسق البللوري للجرمانيوم .



مرتبطة مع أربع ذرات أخرى بوساطة ثنائي الكترولونات . ومثل هذه البللورة مستقر جدا ، خصوصا في درجات الحرارة المنخفضة ، إذ ترتبط كل ذرة من ذراتها ارتباطا وثيقا بالذرات المجاورة مستخدمة في ذلك جميع الكترولونات التكافؤ الخاصة بها . وفي هذه الحالة ، لا توجد الكترولونات حرة في البللورة . لهذا تكون بللورة الجرمانيوم النقي في درجات الحرارة المنخفضة عازلة للكهرباء ، أي لا توصل الكهرباء ، لأن المعادن ليست جيدة التوصيل للكهرباء إلا لاحتوائها على الكترولونات حرة . وتختلف المواد العازلة عن المعادن في أنها لا تكاد تحتوى على أن الكترولونات حرة قادرة على الحركة بين الذرات في أية درجة من درجات الحرارة . وتستطيع أشباه الموصلات أن توصل التيار الكهربائي إذا ظهرت فيها الكترولونات حرة نتيجة لتحطيم بعض الروابط التي بين الذرات مثلا . ويمكن أن يتم هذا التحطيم بتسخين شبه الموصل ، إذ بالتسخين تتذبذب الذرات بحيث يمكن لبعض الكترولونات - باكتسابها طاقة اضافية - أن تكسر روابطها بالذرات وتحرر نفسها منها . وتستطيع هذه الكترولونات أن تنتقل داخل البللورة حاملة التيار الكهربائي . وفي نفس الوقت تظهر امكانية أخرى لنقل التيار الكهربائي في المادة شبه الموصلة ولكن نتيجة لسبب آخر ، إذ أن المكان الذي يخلو بمغادرة الكترولونات الذي كان يشغله يمكن أن يشغل بالكترولون آخر مجاور . والمكان الذي يخلو بانتقال هذا الكترولون الثاني يمكن أن يشغل بالكترولون ثالث . وهكذا نجد أنه بالإضافة الى مجموعة الكترولونات المتحركة داخل البللورة من ذرة الى أخرى في اتجاه ما ، فإن هناك مجموعة من الأماكن الشاغرة التي يمكن أن تشغلها الكترولونات تتحرك في الاتجاه المضاد ، وعادة يسمى المكان الخالي من الكترولونات « ثقباً » . وعندما تفقد ذرة ما الكترولونا حاملا لشحنة سالبة ، تصبح الذرة التي كانت متعادلة موجبة ، ومن هنا يمكن القول بأن الكترولونات يمثل شحنة سالبة ، بينما يمثل الثقب شحنة موجبة .

وتتحرك الكترولونات التي تحررت من الذرات بفعل الحرارة حركة عشوائية بين الذرات . ولكن إذا سلط مجال كهربائي خارجي على البللورة تتحرك الكترولونات نحو الطرف الموجب مكونة بذلك تيارا كهربائيا . ويسمى هذا التيار الناتج من الكترولونات الحرة بتيار الكترولونات ، وتسمى أشباه الموصلات التي يسرى فيها التيار بهذه الطريقة بأشباه الموصلات ذات التوصيل بالكترولونات .

ولأشباه الموصلات طريقة أخرى في توصيل التيار الكهربائي وهي ما يسمى بالتوصيل بالثقوب . وفي حالة عدم وجود مجال خارجي تتحرك مجموعة الثقوب حركة عشوائية في البللورة ، ولكن إذا ما سلط مجال

خارجي عليها يتغير الوضع تغيراً جذرياً . إذ تشغل الإلكترونات الثقوب المجاورة للقطب السالب . وهذه هي الطريقة التي تتحرك بها الإلكترونات إلى القطب الموجب . ويسمى هذا التيار بتيار توصيل الثقوب . ويكون عدد الإلكترونات المتحركة وعدد الثقوب الشاغرة في بللورة الجرمانيوم التي نتكلم عنها واحداً بالطبع ، ويكون لشبه الموصل هذا خاصية التوصيل بالإلكترونات والثقوب جميعاً ، أى تحتوى على شحنات من النوعين . وتسمى هذه الخاصية بالموصلية الذاتية للبللورة .

ولكن يمكن إيجاد حالة في بللورة شبه موصلة لا يكون فيها عدد الثقوب مساوياً لعدد الإلكترونات الحرة . وفى مثل هذه البللورة يكون أحد نوعي التيار غالباً على الآخر : إما تيار الإلكترونات أو تيار الثقوب . ويمكن الحصول على هذا الوضع بإدخال إحدى الشوائب على الجرمانيوم النقي . والشوائب التي تغلب تيار الثقوب على تيار الإلكترونات هي الانديوم والجالسيوم ومواد أخرى . والشوائب التي تغلب تيار الإلكترونات هي الأنثيمون والزرنيخ والبيزموث ومواد أخرى .

ولنفرض الآن أن بللورة من الجرمانيوم قد « لوثت » بالزرنيخ ، فنتيجة لهذا تحل بعض ذرات الزرنيخ محل بعض ذرات الجرمانيوم في النسق البللورى ، وللزرنيخ خمس إلكترونات تكافؤ ترتبط أربعة منها بالإلكترونات الأربعة لذرات الجرمانيوم المجاورة ، بينما يظل الخامس حراً ، ونتيجة للحركة الحرارية للذرات ، يستطيع هذا الإلكترون أن يترك ذرته بسهولة ويصبح موصلاً للتيار ، تيار الإلكترونات . وبهذا يكون التوصيل بالإلكترونات هو الغالب في هذه البللورة « الملوثة » . وبالطبع تعتمد قيمة التيار الإلكتروني على عدد الذرات المخيلة التي أضيفت إلى النسق البللورى للجرمانيوم .

**وكيف نحصل إذن على جرمانيوم ذى توصيل بالثقوب ؟ يكفى لهذا إضافة كمية صغيرة من العنصر النادر ، الانديوم ، إلى الجرمانيوم النقي ،** إذ أن لذرة الانديوم ثلاثة إلكترونات تكافؤ فقط يمكنها أن ترتبط بثلاث ذرات مجاورة من ذرات الجرمانيوم ، وبهذا يظل الرابط الرابع خالياً مكوناً ثقباً . ويمكن لهذا الثقب أن يمتلئ بالإلكترون من إحدى الذرات المجاورة بعد أن يقطع رابطته بها فتصبح ذرة الانديوم بهذا مشحونة بشحنة سالبة ، ولكن يتكون بجوارها ثقب جديد يمكن أيضاً أن يملأ على حساب ذرة مجاورة وهكذا . وبهذه الطريقة تكون الغلبة للثقوب الناتجة عن إحلال بعض ذرات الجرمانيوم بذرات من الانديوم سبباً في التوصيل بالثقوب .

ويحق لنا الآن أن نتساءل : كيف يحدث التقويم في شبه الموصل ؟

يتم التقويم - أى تحويل التيار المتردد الى تيار فى اتجاه واحد - فى الثنائيات شبه الموصلة لأن مقاومتها تعتمد على اتجاه التيار ، وهى فى هذا تشبه الثنائيات المفرغة التى لا تتحرك الالكترونات فيها الا من الكاثود الى الأنود . وفى شبه الموصل المتجانس ، سواء أكان من نوع الالكترونات أو من نوع الثقوب ، لا تعتمد المقاومة على اتجاه التيار ، ولهذا لا يمكن استخدام شبه موصل متجانس فى التقويم ، ولكن الأمر يختلف عند الوصلة ما بين نوعين مختلفين من أشباه الموصلات أو عند الوصلة بين شبه موصل ومعدن -

وأوضح مثال لهذه العملية هو ما يحدث عند الوصلة بين منطقتين أحدهما توصل بالالكترونات والاخرى بالثقوب . ويمكن الحصول على هذه الوصلة مثلاً بإضافة نقطة أو طبقة رقيقة من الأنديموم على أحد أسطح بلورة من الجرمانيوم ذات توصيل بالالكترونات نتيجة لإضافة كمية صغيرة من الانتيومون من قبل . اذ يحول الأنديموم - بتفغله الى مسافة صغيرة فى بلورة الجرمانيوم - هذه الطبقة الى منطقة ذات توصيل بالثقوب . وتكون وصلة داخل البلورة بين المنطقة ذات التوصيل بالالكترونات وتلك ذات التوصيل بالثقوب .

ونتيجة للحركة الحرارية العشوائية ، تمر الالكترونات من منطقة التوصيل بالالكترونات الى منطقة التوصيل بالثقوب ، فتسحب هذه المنطقة بشحنة صغيرة سالبة بالنسبة لباقي بلورة الجرمانيوم . وهذه الشحنة تمنع الالكترونات من الانتقال بعد ذلك الى منطقة التوصيل بالثقوب مكونة ما يسمى بفرق جهد التلامس عن الحد الفاصل بين المنطقتين . وتنشأ بهذا حالة من التوازن الديناميكي فى البلورة حيث تنتقل أعداد متساوية من الالكترونات من الجهتين عبر الحد الفاصل . ولكن مع هذا تظل منطقة الحد الفاصل خالية من حاملات التيار الكهربائي اذ يطرد المجال الكهربائي التكون عند الوصلة بالالكترونات والثقوب بعيداً عنها الى داخل منطقتي التوصيل .

وبهذا تتكون طبقة يصل سمكها الى جزء من مائة جزء من المليمتر على جانبي الوصلة تفتقر الى حاملات التيار وبالتالي تكون مقاومتها عالية .

فاذا وصلت بطارية ببلورة الجرمانيوم بحيث يوصل طرفها السالب بالسطح المحتوى على الأنديموم وطرفها الموجب بالسطح المقابل ، فإن المجال الكهربائي عند الوصلة يزيد وتتناثر الالكترونات والثقوب مع الوصلة بدرجة أقوى ، ويزداد عرض الطبقة الفقيرة فى حاملات التيار . ونتيجة لهذا تزيد مقاومة الطبقة الفاصلة ويقل التيار المار من البطارية الى البلورة الى درجة كبيرة .

فإذا عكس قطبا البطارية ، يقل المجال عند الوصلة فيقل سمك الطبقة الفلزية في حاملات التيار وبالتالي تقل مقاومتها . وفي هذه الحالة يمر في البلورة تيار أكبر بكثير من الحالة السابقة .

وعند استخدام ثنائي شبه موصل كمقوم ، تسلط عليه فلطية مترددة ، فتغير هذه الفلطية المترددة من سمك الطبقة الفاصلة وبالتالي تغير مقاومتها دوريا . ونتيجة لذلك يكون التيار المار عبرها في اتجاه ما أكبر بمئات ، بل آلاف المرات ، من التيار المار في الاتجاه المضاد ، أو بعبارة أخرى يمر التيار في البلورة في اتجاه واحد أساسا . وهكذا يتم تقويم التيار المتردد باستخدام الثنائي شبه الموصل .

كما حتى الآن نتكلم عن الثنائي ذي الوصلة ، والأمور لا يختلف بالنسبة للثنائي ذي نقطة التلامس ، إذ توجد فيه أيضا طبقة رقيقة على سطح شبه الموصل تكون طريقة التوصيل فيها عكس باقي البلورة ، ولا تستخدم مساحة الوصلة بين المنطقتين بأكملها في التقويم ، بل يستخدم قطاع صغير منها فقط ، قريبا من الطرف المذهب للاملاس أو اللولب المعدني .

ومن مميزات الثنائي ذي نقطة التلامس ، انخفاض السعة الكهربائية للاملاس بحيث يمكن استعماله في الترددات العالية جدا ، أي في نطاقات الترددات السنتيمترية والمليمترية . أما مميزات الثنائي ذي الوصلة فهي تصميمه المتكامل الذي يجعله قويا ويمكن الاعتماد عليه ومساحة التلامس الكبيرة التي تسمح بمرور تيارات عالية .

أما الثلاثي شبه الموصل - ويسمى الترانزستور - فهو أساسا عبارة عن ثنائيين شبه موصلين على بللورة شبه موصلة واحدة . ويكتسب الترانزستور خاصيته الجديدة وهي التكبير نتيجة لتوصيل بطارية بأحد الثنائيين في الاتجاه الأمامي بينما توصل بطارية أخرى بالثنائي الثاني في الاتجاه العكسي . وهذا يعني أنه في الوقت الذي توصل فيه بطارية الثنائي الأول بعكس فرق جهد التلامس ، بحيث يقل سمك الطبقة الفاصلة، يزيد سمك هذه الطبقة في الثنائي الثاني . ولكن هذا وحده ليس كافيا لاكتساب خاصية التكبير ، إذ يجب على منطقتي الانتقال في كلا الثنائيين أن تتراكبا بطريقة ما إذا أريد للثنائيين أن يكتسبا خاصية الثلاثي وفي هذه الحالة تؤثر الفلطية التي على أقطاب الثنائي الأول على تيار الثنائي الثاني وبالعكس .

ولما كان الثنائي الأول مفتوحا أي أن مقاومته صغيرة ، فإنه لا يتأثر بحالة الثنائي الثاني إلا تأثيرا طفيفا . أما الثنائي الثاني فإنه مغفول أي أن

مقاومته عالية جدا ، لهذا فان أى حاملات تيار تخترقه من الثنائي الأول تؤثر تأثيرا كبيرا على مقاومته وبالتالي تغير التيار المار فيه تغيرا كبيرا . وهذا هو التكبير ، اذ تولد فلطية منخفضة مسجلة على أقطاب الثنائي الأول تغيرا كبيرا في التيار المار في الثنائي الثاني .

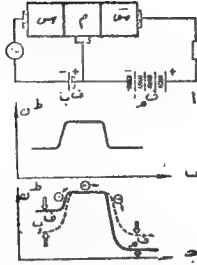
وقد كان الترانزستور الأول من نوع نقطة التلامس . وكان يصنع بتكوين طبقة رقيقة ذات توصيل بالثقب على سطح بللورة من الجرمانيوم ذات توصيل بالالكترونات وذلك بإضافة المادة المناسبة . ويتكون الثنائيان من طرفى زنبركين معدنيين رفيعين يوضعان على هذا السطح . وتكون المسافة بين طرفى هذين الزنبركين المعدنيين من خمسة الى ٢٥ جزءا من مائة من المليمتر . وفى هذه الحالة تتراكم منطقتا الانتقال فى الثنائيين تراكما جزئيا . وكل ما يتبقى بعد هذا هو توصيل شبه الموصل الجديد بالدائرة الكهربائية توصيلا صحيحا .

وتسمى بللورة الجرمانيوم المشتركة بين الثنائيين « القاعدة » ، ويسمى الزنبرك المتصل بالبطارية فى الاتجاه الامامى « الباعث » الذى منه تدخل حاملات الشحنة الى المنطقة الفاصلة فى الثنائي الأول ، ويسمى الزنبرك الثانى المتصل بالبطارية فى الاتجاه العكسى « المجمع » ويسحب الحاملات من الثنائي الثانى ، وهكذا يعمل الباعث هنا عمل الكاثود فى الصمام ، بينما يعمل المجمع عمل الأنود ، وتعمل القاعدة عمل الشبكة الحاركة ، لان الفلطية بينها وبين الباعث تحدد كمية الحاملات التى تدخل المنطقة الفعالة فى شبه الموصل أو بمعنى آخر التيار الداهب الى المجمع .

ويستطيع الترانزستور ذو نقطة التلامس أن يكبر الذبذبات الكهربائية ويولدها بترددات تصل الى عدة عشرات بل مئات الميجاساىكل فى الثانية ولكنها منخفضة القدرة نسبيا ، ولا يمكن الحصول على قدرات عالية الا بالتحول الى التصميم ذى الوصلة .

ويمكن الحصول على ترانزستور ذى وصلة بأدخال شوائب تسبب توصيلا بالثقب الى جانبى بللورة من الجرمانيوم ذات توصيل بالالكترونات . فاذا كانت الوصلتان قريبتين بالدرجة الكافية تصبح البللورة ترانزستورا جاهزا للتشغيل ( شكل ٤٢ ) .

ويستطيع مثل هذا الترانزستور ذو سطح التشغيل الكبير أن يولد قدرات تصل الى مائة وات ، وهى قدرة لا تستطيعها أقوى الصمامات المفرغة المستخدمة فى أجهزة استقبال الراديو والتليفزيون ، ولكنه لا يستطيع أن يعمل الا عند ترددات منخفضة نسبيا .



( شكل ٤٢ ) : ترائزستور ذو وصلة  
( أ ) وتوزيع الجهد (ب) في حالة عدم وجود فلطية خارجية  
(ج) في حالة وجود فلطية خارجية

وفي سنة ١٩٥٤ ظهر نوع جديد من الترائزستور . ويتكون هذا الترائزستور من لوح رقيق من الجرمانيوم تحفر على كل من جانبيه - بوسائل كهربائية - خليتان صغيرتان بحيث يصبح سمك طبقة الجرمانيوم بينهما خمسة أجزاء من الألف من المليمتر فقط . ثم تضاف طبقة رقيقة من الانديوم الى قاعى هاتين الخليتين فتتكون على كل من جانبيه اللوح وصلة بين منطقتي توصيل بالالكترونات والثقوب . وهكذا تضمن قلة سمك القاعدة المتناهي تراكبا كافيا لوصلتي الثنائيتين . ويستطيع هذا الترائزستور أن يعمل عند ترددات تصل الى ما يزيد على مائة ميغا سايكل في الثانية أى في نطاق الموجات القصيرة جدا . وفي نفس الوقت فإنه أكثر اقتصادا من الترائزستور ذو نقطة التلامس بما يتراوح بين عشر مرات الى عشرين مرة ، كما انه أقوى منه بكثير .

وقد تكلم البعض في سنة ١٩٥٤ عن نوع من الترائزستور أكثر تعقيدا من ذلك . وفي هذا الترائزستور وضعت طبقة رقيقة من الجرمانيوم النقي ذى توصيل طبيعي بين قاعدة ذات توصيل بالالكترونات ومجمع ذى توصيل بالثقوب ، وقد مكن هذا من رفع الحد الأقصى للتردد بدرجة لا بأس بها .

وهناك آفاق أوسع بكثير أمام الترائزستور المصنوع من السيليكون، اذ يمكن تصميم ترائزستورات من السيليكون أكبر قدرة وأكثر استقرارا من الناحية الحرارية للعمل عند الترددات الأعلى .

وفي وقتنا هذا توجد أنواع من الترانزستور يمكنها العمل عند ترددات تصل الى حوالي ١٠٠٠ ميجاسيكل في الثانية ، أى بموجة طولها حوالي ٣٠ سنتيمترا .

ومن المميزات الرئيسية لأشباه الموصلات عن الصمامات المفرغة عمرها الطويل جدا النى قده يصل الى عشرات الآلاف من الساعات ( يتراوح عمر صمامات الراديو المعتادة بين ٥٠٠ ساعة و ١٠٠٠ ساعة ) .

### أفاق جديدة

مكن استخدام الثنائيات والثلاثيات المصنوعة من أشباه الموصلات مع المكونات الصغيرة والدوائر المطبوعة من تصميم معدات مدمجة وصغيرة جدا ومتينة . وباستخدام الدوائر المطبوعة يقل استخدام الأسلاك الى أقصى حد . وتصنع الدوائر المطبوعة من ألواح من الخزف أو البلاستيك وطلاء خاص يعطي سطحا عالى التوصيل للكهرباء . ولا تكتفى هذه الطريقة بالاستغناء عن الأسلاك التى تصل المكونات بعضها ببعض . بل يمكنها أيضا « طلاء » ملفات ومكثفات أيضا ، بل ومقاومات ، ولكن باستخدام طلاء آخر . أما المكونات التى لا يمكن « طلاؤها » مثل المحولات وأشباه الموصلات ، فإنها توصل بالدائرة المطبوعة ببساطة .

وكذلك مكن استخدام الأنواع الجديدة من البطاريات الجافة الصغيرة مع الدوائر المطبوعة وأشباه الموصلات والهوائيات الصغيرة المصنوعة من أشباه الموصلات المغناطيسية ( الفريت ) من تصميم أجهزة راديو ذات مكبرات للصوت بحجم صندوق السجائر . ويحتوى هذا الراديو على بطارية جافة يمكنها تغذية الجهاز لمدة شهر فى الظروف المعتادة .

كما صممت بالفعل أجهزة تليفزيون يكون الصمام المفرغ الوحيد فيها هو صمام الصورة بينما تقوم أشباه الموصلات بجميع الوظائف الأخرى . ومثل هذا التليفزيون بالطبع أصغر حجما وأخف وزنا بكثير من الأجهزة المعتادة كما لا يقارن بها من الناحية الاقتصادية .

وقد استخدمت اشباه الموصلات فى آلة حاسبة الكترونية تجريبية كانت تحتوى على ١٢٥٠ صماما . وكانت النتيجة أن انخفض استهلاك القدرة من ٢٦ كيلو وات الى ٣١٠ وات ( الانخفاض حوال ٩٥ ٪ ) . كما صغرت ابعاد الآلة الى النصف ولم يعد من الضروري تبريدها اصطناعيا بينما زاد عولها وعمرها زيادة كبيرة .

وقد بدأ بنجاح استخدام اشباه الموصلات والدوائر المطبوعة في أجهزة الرادار وأجهزة الملاحة اللاسلكية وبخاصة تلك الموجودة في الطائرات والصواريخ .

ولا يتقيد استخدام اشباه الموصلات بالهندسة اللاسلكية ، فان خواصها الرائعة تفتح لها امكانيات جديدة في ميادين أخرى مختلفة تماما عن ميادين الهندسة .

فقد أمكن مثلا تصميم مجسات حساسة وصغيرة مصنوعة من اشباه الموصلات لقياس درجات الحرارة ، وذلك لأن موصلية اشباه الموصلات تتغير بتغير درجات الحرارة . وتسمى هذه المجسات الثرمستور . ويمكن أن يشعر الثرمستور بتغير في درجة الحرارة يصل  $0.001^{\circ}\text{C}$  . وتصنع هذه الأدوات شبه الموصلة على شكل شعيرة أو كرة صغيرة أو لوح . وتستخدم الهندسة اللاسلكية الثرمستور أساسا لقياس القدرة عند الترددات العالية جدا . فيوضع الثرمستور داخل دليل موجي يملأ بالطاقة ذات التردد العالي جدا . وباستخدام أعضاء خاصة للموافقة يمكن التأكد من أن الثرمستور يمتص جميع الموجات الساقطة عليه بحيث يتناسب ارتفاع درجة حرارته مع قدرة الموجة ، وهكذا يمكن بقياس مقاومة الثرمستور معرفة درجة حرارته وبالتالي قدرة الموجات السلكية المسلطة عليه .

ويستخدم الثرمستور كثيرا في دوائر تحكم لاسلكية متعددة مثل دوائر التحكم الاوتوماتيكي في اتساع ذبذبات مولدات التيار المتردد التي تعمل بصمامات ، وفي دوائر التحكم الاوتوماتيكي في التكبير . الخ .

ولا يمكن الاستغناء عن الثرمستور كوسيلة لارسال الاشارات أو للمراقبة أو للتحكم في جميع العمليات التي يصاحبها تولد حرارة . ويمكن أن يوضع في الأماكن التي يصعب الوصول إليها ، فيرسل الإشارة بنفاذ الشمع في الأماكن المعرضة للاحتكاك في المكونات المقعدة أو بالتغير في الضغط المصاحب للتغير في درجات الحرارة ، أو بالتغير في الظروف الحرارية للعمليات التكنولوجية المختلفة . وكذلك يمكن استخدامه في البيوت الزجاجية لتربية النبات ، حيث يجب الاحتفاظ بدرجة حرارة الهواء ثابتة . أما في مخازن الغلال والحضروات فيستطيع الثرمستور أن يعطي التحذير في الوقت المناسب بأن المخزون قد بدأ يتعفن ، لأن التعفن يصاحبه ارتفاع في درجة الحرارة . وفي الفلك يستخدم الثرمستور في قياس درجات حرارة الكواكب ، وفي الدراسات الحيوية يوضع الثرمستور في ساق النبات أو إحدى أوراقه لدراسة التبادل الحراري الذي



يصاحب التفاعلات الكيميائية في النبات • ويستخدم الأطباء نوعا خاصا من الترمستور لقياس درجات حرارة المعدة وأعضاء أخرى بدقة • وفي التبيورولوجيا ( دراسة طبقات الجو ) يستخدم الترمستور في قياس رطوبة الهواء وسرعة الريح وطبيعته • ويستخدم الترمستور أيضا في الزراعة لتحديد درجة حرارة التربة ورطوبتها وفي ميكنة عدد من القياسات الأخرى •

وقد فتحت تلك الخواص الممتازة للمواد شبه الموصلية طريقا سهلا ورخيصا لتحويل الطاقة الحرارية الى طاقة كهربائية بغير حاجة الى مكثات معقدة وغالية التكاليف • ولقد كان معروفا منذ القرن الماضي انه اذا سخنت وصلة من معدنين متغايرين سرى تيار كهربائي فيها • وتلاحظ نفس الظاهرة في أشباه الموصلات ولكن بدرجة أكبر • فاذا وصلت مادة شبه موصلية بأخرى ذات طبيعة التوصيل للآخر ، فانهما عند التسخين يكونان ما يسمى بالعنصر الحرارى • وكفاية هذا المصدر من مصادر التيار الكهربائي عالية ، اذ يمكن أن تصل الى ١١٪ • ومع ذلك فليست هذه هي النهاية بالنسبة للعناصر الحرارية شبه الموصلية ، اذ يمكن ترتيب مثل هذه العناصر في بطاريات يمكنها أن تغذى محطة لاسلكية صغيرة من الحرارة الصادرة من مصباح غازى أو فرن غازى أو حتى نار المسكر • وواضح ان مثل هذه المصادر للتيار الكهربائي المصنوعة من أشباه الموصلات لا يمكن الاستغناء عنها في المناطق النائية التي لم تدخلها الكهرباء بعد وبخاصة المناطق الشمالية ، مثل التندرا والتايجا • أما في المناطق الجنوبية من الكرة الأرضية فتستخدم العناصر الحرارية لتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية ، وفي المناطق الأخرى من الأرض تستخدم هذه العناصر في استغلال حرارة الغازات المتخلفة في صناعات التعدين وما أشبه •

ويمكن استخدام أشباه الموصلات في عمليات غير عادية مثل الحصول على البرودة من الحرارة والحرارة من البرودة • ولقد ذكرنا لتونا أنه عندما تسخن وصلة مكونة من مادتين من أشباه الموصلات يسرى فيها تيار كهربائي • وقد قام الأكاديمي الروسى لنتز بتجربة العكس ، اذ مر تيارا كهربائيا في وصلة مكونة من البزموت والأنتيمون واكتشف أنها تسخن بمرور التيار في اتجاه معين ، فاذا عكس اتجاهه فانها تبرد ، ويمكن بهذه الطريقة من تجميد نقطة من الماء وضعها على الوصلة ، وبهذا اكتشف العناصر أن الحرارية شبه الموصلية يمكنها توليد الحرارة وكذلك البرودة • وباستخدام هذه الخاصية من خواص اشباه الموصلات يمكن الحصول على أى نوع من المناخ على صورة مصغرة في الأحياء السبكئية • ولا شك

فى أن نظام التدفئة المركزية المستعمل فى أيامنا هذه مستبدل فى المستقبل ببطاريات من العناصر الحرارية تدفئ المنزل فى الشتاء وتبرده فى الصيف ، وقد تم بالفعل تصميم ثلاثة فريدة تعتمد فى تشغيلها على هذه الخاصية لأشباه الموصلات ، وتستهلك هذه الثلاثة طاقة أقل من الثلاثة ذات الكباس أو أى نوع آخر من الثلاثه الموجوده الآن .

وكذلك مكنت اشباه الموصلات من الحصول على نوع جديد من أنواع تحويل الطاقة ، ألا وهو تحويل الطاقة الذرية مباشرة الى طاقة كهربائية . وهناك بالفعل بطاريات من أشباه الموصلات تحول طاقة تحلل أحد النظائر الاصطناعية المشعة لمادة الاسترونشيوم الى طاقة كهربائية . ويمكن استغلال مثل هذه البطاريات فى المحيطات التتيورولوجية البعيدة مثل تلك القائمة على قمم الجبال أو فى المناطق القطبية فتغذى المحطات بالطاقة الكهربائية بصفة مستمرة لمدة عشرات من السنين .

وبدراسة خواص أشباه الموصلات المعروفة حتى الآن ونتائج آخر الأبحاث ، يمكن التأكيد بأن أشباه الموصلات هى مواد المستقبل . لأشباه الموصلات امكانيات غير محدودة مازلنا فى بداية الطريق الى تحقيقها ، وقد قامت مدرسة الفيزيائيات السوفيتية التى أسسها بطل العمل الاشتراكي الأكاديمي أ . ف . يوف بكثير من الأبحاث على أشباه الموصلات واستخداماتها فى الأعوام الخمس وعشرين الماضية . وتعطى نتائج الأعمال التى قام بها العلماء السوفيت أسبابا للاعتقاد بأن اشباه الموصلات ستساعد على النهوض بالهندسة اللاسلكية ، وهندسة القدرة الكهربائية والميكنة والقياسات وتقنيات الاضاءة الى أعلى درجة من التطوير .

## الالكترونيات وغزو الفضاء

سيسجل تاريخ البشرية اليوم الرابع من أكتوبر عام ١٩٥٧ كبتدأ عصر جديد ، عصر غزو الفضاء . وقد عبرت الأقمار الاصطناعية التي أطلقها الاتحاد السوفيتي عن ملخص التقدم التكنولوجي في الاتحاد السوفيتي في الأعوام الأربعين الأخيرة منذ قيام ثورة أكتوبر الكبرى . وكان هذا اختصارا لفرع الالكترونيات ، كما كان أيضا اختبارا لكثير من فروع العلم والهندسة الأخرى .

وتشارك المعدات اللاسلكية في إطلاق الصاروخ الذي يضع القمر الاصطناعي في مداره وفي القيام بالأبحاث المعقدة التي تتم بمساعدته . ويلقى العبد الأكبر على عاتق الآلات الحاسبة الالكترونية في حساب مسار القمر الاصطناعي ، وحل عدد من المسائل المعقدة التي تدخل في تصميمه وإطلاقه .

ويتكون جزء لا بأس به من معدات القمر الاصطناعي نفسه من أنواع متعددة من المعدات الالكترونية ومصادر التغذية ، كما شارك كثير من المحطات اللاسلكية ومحطات الهواة في متابعة الاشارات اللاسلكية الصادرة من أجهزة الارسل الموجودة في هذه المعامل الطائرة ، كما استمرت محطات الرادار في مراقبة الأقمار التي أطلق عليها اسم سبوتنيك الى ما بعد استهلاك منابع تغذيتها .

إن إطلاق قمر صناعي عملية معقدة لا يمكن للإنسان أن يتحكم فيها بطريقة مباشرة ، إذ أن الدقة المطلوبة للقيام بالعمليات المعقدة اللازمة للتحكم في تلك الصواريخ القوية الواحدة بعد الأخرى عالية جدا ، وإتقنه خطأ لا يعنى إلا الفشل ، وكذلك يجب أن تدخل في الحساب تيارات الهواء التي قد تحرف مسار الصاروخ وبخاصة في المرحلة الأولى من

الانطلاق في الطبقات الكثيفة من الجو حيث تكون السرعة منخفضة نسبيا .  
لذلك صمم المهندسون معدات أوتوماتيكية تعمل على مواجهة أى موقف غير  
متوقع علاوة على تلك الخاصة بإطلاق الصاروخ .

وبعد اتمام كافة التحضيرات واختبار كافة الأجهزة وتركيبها في  
رأس الصاروخ وملء خزانات الوقود ، يتراجع العلماء والمهندسون وطاقم  
الانطلاق إلى المخبأ .

وهنا يبدأ عهد الآليات ، ففي اللحظة المحددة للانطلاق تدار محركات  
الصاروخ ، وفي الحال تبدأ آلات التصوير السينمائي في العمل ، ويبدأ  
الصاروخ في الارتفاع إلى أجواز الفضاء ببطء وعظمة أولا ، ثم بسرعة  
متزايدة . وبانتهاء مهمة المرحلة الأولى من الصاروخ تنفصل هذه المرحلة  
أليا عن باقى الصاروخ ويشتمل محرك المرحلة الثانية أليا .

وبانتهاء الجزء الرئيسى من مسار الصاروخ بدقة تامة ، تعمل آلات  
أوتوماتيكية على ادخال الصاروخ في منحني لطيف إلى مساره المحدد من  
قبل . وعندما ينتهى احتراق وقود المرحلة النهائية من الصاروخ بأكمله،  
يكون القمر الاصطناعى قد وصل إلى مداره وأصبح جسما كونيا خاضعا  
لقوانين الجاذبية الكونية .

ولم يكن القمر الاصطناعى الأول معبلا كونيا بالمعنى الكامل ، اذ لم  
يكن مجهزا بالمعدات اللازمة لاكتشاف الفضاء مباشرة ، ومع ذلك فقد تم  
تنفيذ برنامج واسع من الدراسات العلمية باستخدامه وكان أهمها دراسة  
انتشار الموجات اللاسلكية ودراسة مدار القمر الاصطناعى ، الأمر الذى  
أدى إلى الحصول على بيانات قيمة عن تركيب الأرض وكثافة الطبقات العليا  
من الجو .

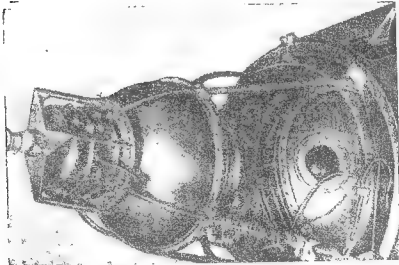
وقد زود سيوتنيك - ١ بجهازى إرسال يعمل أحدهما بتردد قدره  
٢٠٠٥ ر٠٢ ميجاسيكل والآخر بتردد قدره ٤٠٠٢ ر٠٢ ميجاسيكل ( أى  
بموجتين طولهما ١٥ ، ٧٥ مترا على الترتيب ) . وكانت الاشارات  
المرسلة منهما على شكل نقط حسب اشارات مورس تستغرق الواحدة  
٣ ر٠ ثانية ويتبعها سكون لنفس الزمن ، وكان الجهازان يعملان على التناوب  
فيرسل أحدهما فى فترات سكون الآخر . وكانت قدرتهما كافية لضمان  
استقبال اشارتهما استقبالا يعتمد عليه إلى مسافات بعيدة . ولقد حدث  
فى عدة مناسبات أن سمعت هذه الاشارات إلى مسافة ١٠٠٠ كيلومترا .

وحتى تلك الساعة ، لم يكن من الممكن القيام بأبحاث عن الايونسفير  
بدقة كافية ، فان الدراسات النظامية التى تتم فى محطات دراسة

الايونوسفير الأرضية لا يمكنها أن تعطي إلا معلومات « من جانب واحد » ، إذ لا تستطيع هذه المحطات أن تعطي بيانات آلا عن تلك المناطق من الايونوسفير التي تقع تحت طبقة ف ٢ ، وهي منطقة أعلى تايين . أما القمر الاصطناعي فيخترق الطبقات العليا من الايونوسفير مرتين في كل دورة ومن هنا أمكن الحصول على بيانات قيمة عن الايونوسفير بأكمله عن طريق مراقبة اشارات جهازى الارسل بالقمر الاصطناعي بانتظام ، وكانت من النتائج البالغة الأهمية لهذه الدراسة ان الاشارة التي طول موجتها ١٥ مترا تأثرت بالايونوسفير أكثر بكثير من الاشارة التي طول موجتها ٧٥ مترا . وقد أدت هذه المقارنة لقوتى الاشارتين الى معلومات قيمة عن الظروف الفيزيائية في الطبقات العليا للايونوسفير وعن تأثير الايونوسفير على الاتصالات اللاسلكية .

وقد سجلت المحطات العلمية ، وكذلك سجل كثير من هواة اللاسلكي ، اشارات سبوتنيك مع اشارات ضبط الوقت الدقيقة على اشرطة مغناطيسية ، وقد أدت هذه التسجيلات الى بيانات هامة عن الايونوسفير كما مكنت من حساب مدار القمر الاصطناعي ومدة دورته حول الأرض مما كان أساسا لأبحاث جيوفيزيائية أخرى .

ولم تختلف المعدات اللاسلكية في القمر الاصطناعي سبوتنيك - ٢ عن تلك التي كانت في سبوتنيك - ١ ، ولكن المعدات العلمية التي بلغ وزنها ٥٠٨٣ كيلو جراما . حولت هذا القمر الى محطة علمية كروية اوتوماتيكية ذات ثلاثة « معامل » ( شكل ٤٣ ) .



( شكل ٤٣ ) : وعاء المعدات العلمية في القمر الصناعي السوفيتي الثاني

وقد احتوى المعدل البصرى على ثلاثة مضاعفات ضوئية خاصة بين كل منها وزميه ١٢٠ لقياس الاشعة السينية والاشعاع فوق البنفسجى .

ومن المعروف أن جو الأرض يمتص الاشعة السينية الصادرة من الشمس تماما وكذلك الغالبية العظمى من اشعاع الشمس فوق البنفسجى، ولا تصل الى الأرض الا نسبة ضئيلة منه وهى ذات الموجات الأطول التى تقترب من موجات الضوء المرئى . ولهذا لا يصل الى سطح الأرض ذلك الجزء من الطيف الشمسى الذى يحتوى على أعلى طاقة ، وهذا يقى الحياة على الأرض من التأثير المميت للاشعاع القصير الموجة الصادر من الشمس ، كما انه أيضا يمنع دراسته من على سطح الأرض ، وقد كانت أولى الدراسات التى تمت على الأشعة فوق البنفسجية ذات الموجة القصيرة والاشعة السينية الصادرة من الشمس هى تلك التى تمت باستخدام الصواريخ التى تصل الى ارتفاعات شاهقة ، ومع ذلك فإن تلك الأرصاد التى تتميز بقصر مدتها لا تسمح بالقيام بدراسة منظمة يمكنها أن تربط بين التغير فى شدة هذه الاشعاعات والعمليات المختلفة التى فى الشمس .

أما الأقمار الاصطناعية فأنها تسمح بالقيام بعدد من الأرصاد القيمة نظرا لتغير ارتفاعها بانتظام بحيث يمكن إيجاد العلاقة بين الاشعاع قصير الموجة والعمليات التى تحدث على سطح الشمس . ونظرا لأن القمر الاصطناعى يكون فى ظل الأرض لفترة معينة خلال كل دورة من دوراته ، فقد صممت المضاعفات الضوئية والأجهزة المصاحبة لها بحيث تعمل بأشعة الشمس ، ويتم تشغيلها بواسطة مقاومات ضوئية ، وقد وضعت المقاومات الضوئية الثلاث بحيث تضاء كل منها بأشعة الشمس عندما تسقط هذه الأشعة على المضاعف الضوئى المناظر لها فقط ، وحينئذ تقلل المقاومة الضوئية دائرتى المضاعف الضوئى والجهاز الاوتوماتيكى ، ونتيجة لهذا يغطى المضاعف الضوئى المعرض لأشعة الشمس أوتوماتيكيا بعدة مرشحات الواحد بعد الآخر بعضها من المعدن الرقيق وبعضها من أغشية من مواد عضوية وبعضها من مواد بصرية خاصة . وتسمح هذه المرشحات بفصل النطاقات المختلفة من طيف الشمس ذى الموجة القصيرة . وتكرر الاشارات الناتجة عن المضاعف الضوئى وترسل الى الأرض عن طريق جهاز لقياس عن بعد .

وستؤدى المقارنة بين هذه البيانات والأرصاد التى قامت بها المحطات الأرضية طبقا لبرنامج السنة الجيوفيزيائية الدولية الى معلومات قيمة

مستساعد على التقدم بمجال التنبؤ وحسابات الاتصالات اللاسلكية .  
وسيمكن العلماء من التحقق من صحة الفرض القائل أن الطبقة السفلى  
من الايونوسفير ( الطبقة هـ ) والتي على ارتفاع ٧٠ - ٩٠ كيلو مترا  
تتكون نتيجة لتأثير خطوط الايدروجين الطيفية التي يشعها كروموسفير  
الشمس ، وان الطبقة د التي توجد على ارتفاع ٩٠ - ١٠٠ كيلومترا تتكون  
نتيجة للأشعة السينية المنبعثة من الهالة الشمسية . الخ

وهناك أيضا أجهزة خاصة في المعمل الكوني وهي عدادات الدقائق  
المشحونة مهمتها دراسة الأشعة الكونية في الفراغ الخارجي مباشرة .  
وهذا أمر على جانب كبير من الأهمية لأن الأشعة الكونية تجتاز مراحل  
معقدة من التغيرات أثناء اختراق جو الأرض مما يؤدي الى تغيرات كبيرة  
تعتمد على الارتفاع . اذ تتفاعل الدقائق الكونية « الأولية » القادمة من  
مناطق نائية من الفضاء أم من الشمس مع نوى الذرات التي تؤلف جو  
الأرض مولدة بذلك عددا من الدقائق الجديدة ومستهلكة في نفس الوقت  
الجانب الأكبر من طاقتها . ومن هنا كانت أهمية دراسة الإشعاعات  
الكونية في الفضاء الخارجي .

وجدير بالذكر أن المجال المغناطيسي للأرض يحيطها بحاجز غير  
مرئي ، وبقية حاجز الطاقة هنا أيضا من الدقائق الكونية . وبسببه  
لا تستطيع الدقائق الكونية ذات الطاقة المنخفضة أن تصل الى المناطق  
القطبية ، أي الدائرة القطبية الشمالية والدائرة القطبية الجنوبية ، أما  
المناطق الاستوائية فلا تصل اليها الا الدقائق التي تزيد طاقتها على  
١٤.٠٠٠ مليون إلكترون فولط ( أي عمل ٤٠٪ عما يستطيع أن يولده  
أقوى مسارع سينكروترون في العالم وهو ذلك الموجود في  
دوبنا ) .

وتولد عدادات الدقائق المشحونة التي وضعت في الأقمار طراز  
سبوتنيك نبضة كهربائية كلما مرت خلالها إحدى الدقائق الكونية ،  
وتحصى دوائر ترانزستورية خاصة عدد النبضات وترسل إشارة كلما  
وصل العدد الى رقم معين ( شكل ٤٤ ) .

وبعد أن يرسل الجهاز هذه الإشارة يبدأ في العمل من جديد .  
وبقسمة عدد الدقائق التي عدّها الجهاز على الزمن الذي استغرقه في  
عدّها ، يمكن معرفة متوسط عدد الدقائق التي مرت خلاله في  
الثانية .



( شكل ٤٤ ) : معدات دراسة الأشعة الكونية بالقمر الاصطناعي السوفيتي الثاني

وقد أظهرت القياسات علاقة واضحة بين عدد العناق الكونية وخط العرض الجغرافي . وتستؤدى المقارنة بين هذه النتائج والقياسات الجيوفيزيائية الأخرى وكذلك نتائج دراسات الشمس الى بيانات أخرى قيمة .

وقد يمكن للعمل الحيوى بالقمر سبوتنيك - ٢ من الحصول على بيانات عن الوظائف المختلفة لكائن حي يعيش فى ظروف الفضاء لأول مرة فى تاريخ البشرية . ومن الأمور الهامة فى هذا المجال ، ان الحل المفيد الكبير لهذا القمر الاصطناعي ممكن من استخدام حيوان ثديى على درجة كبيرة من التطور مثل الكلب فى هذه التجربة . وقد تم تدريب الكلبة لايتكا التى استخدمت فى هذه التجربة تدريجياً لتعتاد على المكوث لمدة طويلة فى كابينة صغيرة الحجم محكمة الاغلاق، وكذلك لتعتاد على التسارع والاهتزاز والملابس الخاصة واللاقطات المختلفة اللازمة لدراسة وظائفها الفسيولوجية .

وقد أمدت معدات القياس الاوتوماتيكية وأجهزة الارسال العلماء على الأرض ببيانات عن معدل نبض القلب وعن التنفس وضغط الدم والجهد البيولوجى للقلب ودرجة الحرارة المحيطة وضغط الهواء ... الخ .

وكان التحكم فى تركيب الغاز داخل القمرة ، وكذلك رطوبته يتم اوتوماتيكياً . وكذلك تغذية الكلبة ودورة الهواء الذى تعيش فيه . لأن تيارات الحمل الطبيعية للهواء تتوقف فى حالة انعدام الوزن .



وقد أظهرت البيانات التي تم الحصول عليها ، ان الكلية تحملت جيدا تعرضها الطويل لتأثير التسارع أثناء الارتفاع الى طبقات الجو العليا ، ثم التعرض لانعدام الوزن بعد ذلك عندما وصل القمر الى مداره .

ثم كانت هناك امكانيات اوسع للبحث العلمي مرة ثالثة ، وذلك عند إطلاق القمر السوفيتي الثالث . ففي ١٥ مايو سنة ١٩٥٨ ، وضع القمر سيوتنيك - ٣ الذي كان وزن ١٣٢٧ كجم في مداره . وقد كان شكله مخروطية تقريبا ارتفاعه ٣ر٥٧ مترا ، وقطره ١ر٧٣ مترا ( بدون الهوائيات البارزة ) . وكان وزن الحصل المفيد الذي يتضمن المعدات العلمية ومصادر التغذية ٩٦٨ كجم .

وقد مكنت المعدات اللاسلكية التي وضعت في هذا القمر من القيام بقياس التغير في مداره بطريقة أدق ، وتولى جهاز التحكم ، الذي قام بمهمة التحكم في جميع المعدات العلمية وإستزاد البيانات التي يتم الحصول عليها وإرسالها الى الأرض أثناء مرور القمر على محطات خاصة داخل الاتحاد السوفيتي ، إستقبال البيانات التي تم تجميعها ، وكان هذا كله يتم طبقا لبرنامج محدد يتولى هذا الجهاز تنفيذه . وقد استخدمت جميع المعدات العلمية ومعدات القياس والمعدات اللاسلكية في سيوتنيك - ٣ الترانزستور على نطاق واسع حتى أن عددها بلغ عدة آلاف . وكانت تغذية هذه المعدات جميعها عن طريق مركبات خاصة من الفضة والحارصين وخلايا أكسيد الزئبق وبطاريات شمسية مصنوعة من أشباه الموصلات . وقد وضعت البطاريات الشمسية المصنوعة من السيليكون ( والتي بلغت كلفتها ٩ - ١١ ٪ ) بحيث يضاه دائما بأشعة الشمس .

وقد كان مدار القمر الاصطناعي السوفيتي الثالث على شكل قطع ناقص يبلغ ارتفاع الأوج فيه عن الأرض ١٨٨٠ كم . وقد حسنت وسائل المتابعة حركته وتقنياتها تحسينا كبيرا . وكانت البيانات التي تحصل عليها المحطات اللاسلكية ترسل لاسلكيا أيضا الى مركز لتنسيق الحسابات . حيث كانت تقدم أنوماتيكيا الى آلة حاسبة الكترونية ذات سرعة عالية كانت تقوم بحساب معاملات مدار سيوتنيك - ٣ .

وكما كان الحال في القمرين السابقين ، اشتركت محطات جماعية وفردية للهواة في رصد مداره . وللأرصاء الدورية التي يقوم بها هواة اللاسلكي وبخاصة اذا كانت مسجلة على شريط مغناطيسي قيمة كبيرة عند العلماء .

وبالإضافة الى الحصول على بيانات جديدة عن الايونوسفير بنفس الطرق التي اتبعت في القمرين الأول والثاني مكنا سبوتنيك - ٣ من الحصول على قياسات مباشرة لخواص الايونوسفير مثل تركيز الالكترونات والايونات ، وطيف كتل الايونات الموجبة . ولهذا زود القمر بأجهزة خاصة منها جهاز تحليل طيفي كتلي يعمل بالتردد العالي .

كما حمل سبوتنيك الثالث أجهزة لقياس المجالات الكهربائية والمغناطيسية للأرض مما أدى الى الحصول على بيانات جيوفيزيائية هامة .

وقد تمكن العلماء السوفيت لأول مرة في تاريخ العلم من القيام بتجارب الكشف عن فوتونات أشعة جاما في الأشعة الكونية الأولية . وبالإضافة الى هذا خرجتعدادات شرينكوف الى الفضاء الخارجي لأول مرة أيضا . وتستطيع هذه العدادات أن ترسل قياسات الى الأرض لمدة طويلة ، كما تمكن من معرفة قيمة شحنة الدقائق التي تصطدم بها ، وبهذا تمدنا ببيانات أخرى عن تركيب الأشعة الكونية الأولية ، كما قام سبوتنيك الثالث بدراسات عن الإشعاع الجسيمى للشمس أكملت بقياسات للأشعة السينية .

وحتى ذلك الحين ، لم تكن القياسات التي تتم باستخدام الصواريخ عالية الارتفاع تعطى بيانات منظمة عن الضغط والكثافة في طبقات الجو العليا ، وقد تمكن القمر الاصطناعي السوفيتي الثالث من الحصول على هذه البيانات ، كما زود أيضا بأجهزة لتسجيل الصدمات الناتجة عن الشهب الدقيقة بالإضافة الى عددها .

ويعتبر القمر الاصطناعي السوفيتي الثالث - وحجمه في حجم سيارة - نصرا للعلم السوفيتي وإثباتا آخر لميزات النظام الاشتراكي السوفيتي .

ويحتوى برنامج السنة الجيوفيزيائية الدولية على أبحاث مختلفة تتطلب استخدام المعامل الكونية ، لهذا لا شك في أن الأقمار الاصطناعية ستزود في المستقبل بأجهزة تتزايد مع الزمن تعقيدا وعمرا .

وستواجه أجهزة القياس في المستقبل مطالب أقسى ، وكذلك أيضا أجهزة تخزين المعلومات ، وأجهزة الاعداد الأولى للقياسات . وأجهزة الارسل للأرض .

وليس بعيدا ذلك اليوم الذى ستساعد فيه الأقمار الاصطناعية التى  
تدور بصفة دائمة حول الأرض على ارتقاعات. هائلة على الحصول على  
سفال تليفزيونى يغطى الأرض كلها ( انظر الفصل الثالث ) .

وعندما تنطلق أول سفينة فضاء لتدور حول القمر (١) ، ستنظر  
بجهاز التصوير التليفزيون الى الجانب الآخر الغامض من القمر الذى لم  
يراه انسان حتى الآن . وسيطلب هذا بالطبع أجهزة تستطيع أن تذكره  
لصور الى أن يصبح القمر الاصطناعى على مرمى البصر من الأرض .

وحتى الرابع من أكتوبر سنة ١٩٥٧ ، كانت فكرة ارسال سفينة  
فضاء حول القمر مجرد خرافة علمية ، ولكن العلماء والمهندسين والصالح  
السوفيت تمكنوا من تحويله الى حقيقة ملموسة . ففي ٢ يناير سنة  
١٩٥٩ ، أطلق الشعب السوفيتى أول صاروخ فضائى ليصل قرب القمر  
وهو يحمل علما عليه شارة الاتحاد السوفيتى وجملة « اتحاد الجمهوريات  
الاشتراكية السوفيتية - يناير ١٩٥٩ » .

وطبقا للبرنامج الموضوع ، نجح الصاروخ المتعدد المراحل فى اكتساب  
السرعة الكونية الثانية وقدمها ١١٢ كيلو مترا فى الثانية ودخل فى  
مساره الذى كان محطدا له .

وكان وزن المرحلة الأخيرة من سفينة الفضاء ١٤٧٢ كيلو جراما  
( باستثناء الوقود ) . وكان الوزن الكلى للمعدات العلمية ومعدات القياس  
ومصادر الطاقة والوعاء الحاوى لهذه المعدات ٣٦٩٣ كيلو جراما . وغنى  
عن الذكر ان دفع الصاروخ كان هائلا وأنه كان مزدحما بعدد كبير من  
الأجهزة الحديثة وكذلك بثلاث محطات ارسال لاسلكية .

فماذا كانت النتيجة التى على هذه المعدات ان تحلها ؟

منذ اجيال يعرف الناس ان للأرض مجالاً مغناطيسيا ، وكذلك  
تمكن الفيزيائيون الفلكيون من الكشف عن المجال المغناطيسى للشمس  
وبعض النجوم بالملاحظات البصرية ، ولكن طبيعة المجالات المغناطيسية  
للأجسام السماوية ليست واضحة حتى الآن .

ففى البداية افترض ان مجال الأرض المغناطيسى نتيجة للخامات  
المبغطة الموجودة فيها لا غير ، ثم اكتشف ان جزءا كبيرا من هذا المجال

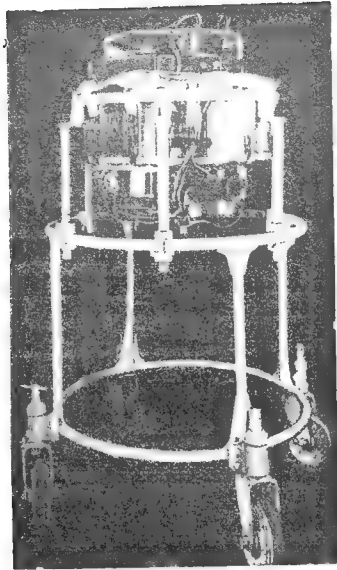
(١) يذكر القراء ان هذا قد تم فعلا منذ عدة سنين - لترجم

تصاحبه تيارات كهربائية فى المحيطات ، وتيارات من الدقائق المشحونة فى الطبقات العليا من جو الأرض . وقد ساعدت الأقمار الاصطناعية السوفيتية على اكتشاف ان كثافة الاشعاع الكونى تزيد الى حد كبير عند ارتفاع حوالى ٥٠٠ كيلو مترا عن سطح الأرض ، وتصل الى نهايتها الأعظمى عند ارتفاع يصل الى عدة آلاف من الكيلو مترات ، ثم تبدأ بعدها فى التناقص . ويحتجز المجال المغناطيسى للأرض هذه الدقائق الكونية كما تؤثر هى بدورها عليه .

أما القمر فليست به محيطات ، وليس له غلاف جوى ، ولهذا لا تكون مشكلة مجاله المغناطيسى معقدة بسبب التيارات الكهربائية فى المحيطات والغلاف الجوى ، فتدور حوله اذن تقريبا الى حل لفز المجالات المغناطيسية للأجسام السماوية ، وليست هناك طريقة فيزيائية فلكية يمكن بواسطتها الكشف عن هذا المجال ، فضلا عن قياسه . ولهذا فقد كان الواجب الرئيسى أمام الصاروخ الكونى هو حمل أجهزة قريبا من القمر يمكنها ارسال المعلومات عن مجاله المغناطيسى الى الأرض .

كذلك تمكن الباحثون الذين يدرسون الأشعة الكونية من « الامساك » بها فى الآبار العميقة وفى البحار ، على سطح الأرض وعلى قمم الجبال ، كما حملت البالونات أجهزة قياس الأشعة الكونية وكذلك صواريخ الارتفاعات العالية والأقمار الاصطناعية . ولكن ليست هناك معلومات عن طبيعة الأشعة الكونية خارج المجال المغناطيسى للأرض . وبالطبع حمل الصاروخ الذى غادر الأرض ووصل الى منطقة فى الفضاء لا يكاد يكون للمجال المغناطيسى للأرض فيها أى وجود على ، أجهزة لقياس شدة الأشعة الكونية والتغير فيها ، وكذلك أجهزة الكشف عن وجود الفوتون فى الاشعاع الكونى .

وتعتبر المعلومات الخاصة بتوزيع النوى الثقيلة فى الاشعاع الكونى ذات أهمية كبرى فى حل مشاكل نشأة الكون ، ولا تسمح الأبحاث التى تتم على الأرض ، أو حتى تلك التى تتم بالاستعانة بالأقمار الاصطناعية بمعرفة هذا التوزيع بأى درجة من الدقة ، وذلك نتيجة لفعل المجال المغناطيسى للأرض . وقد حمل هذا الصاروخ الأجهزة الى ما بعد حدود هذا المجال ، وبهذا ساعد على حل مشاكل تركيب الاشعاع الكونى فى الفراغ بين الكواكب .



( شكل ٤٥ ) : اناء الاجهزة الخاص بالدراسة للوجود بالمساروخ ويتضمن مصادر الطاقة  
( موضوع حل عربي ) .

ومن الأبحاث ذات القيمة العظيمة تلك الخاصة بدراسة الغاز الكوني  
الوجود بين الكواكب والاشعاع الجسمي للشمس غير المشوه نتيجة  
للجبال المغناطيسية للأرض ، اذ يسكن بهذا معرفة التركيب الأول لهذا  
الاشعاع الذي يسبب التسليق القوي والعواصف المغناطيسية على  
الأرض .

وعندما مر الصاروخ قريبا من القمر ، قامت الأجهزة التي يحملها بقياس نشاطه الاشعاعي .

وكذلك قام الصاروخ بدوره في الدراسات الخاصة بالدقائق الشهبية التي بدأتها الأقمار الاصطناعية . ويمكننا الآن ان تكون فكرة أصح عن احتمال اتلاف الشهب لسفن الفضاء التي سيتحرك بها الانسان الأرض ويذهب لدراسة القمر دراسة تفصيلية . وسيتمكن هذا المهندسين من تصميم وسائل الوقاية الملائمة .

وقد قامت الأجهزة المركبة في الصاروخ بقياس درجة الحرارة داخل الوعاء وعلى سطح الصاروخ ، وقد سجلت درجات الحرارة الآتية على سطح الصاروخ :

٣ يناير : ١٥ - ٢٠ درجة مئوية فوق الصفر

٤ يناير : ١٠ - ١٥ درجة مئوية فوق الصفر

كما كانت درجة الحرارة داخل الوعاء تتراوح بين ١٠ الى ٢٠ درجة مئوية فوق الصفر . وقد كان ضبط درجة حرارة الصاروخ في هذه الحدود يتم عن طريق الموازنة بين الحرارة المنبعثة من الأجهزة التي تعمل بداخله والحرارة التي يكتسبها من أشعة الشمس من جهة ، وتلك التي يفقدها خلال غلافه من جهة أخرى . وستستخلص النتائج التي تم الحصول عليها في تصميم سفن الفضاء القادمة .

وقد حمل أول صاروخ فضائي معدات خاصة أطلقت سحابة من الصوديوم في تمام الساعة ٥٧ : ٣ يوم ٣ يناير وذلك طبقا للبرنامج الموضوع ، ولعدة دقائق جعل الاشعاع الشمسي أبخرة الصوديوم هذه تشع ضوءا خافتا يشبه الى حد ما وهج ذيل المذنب . وقد صور الراصدون في مرصد ألما آتا هنا « المذنب الاصطناعي » الذي يعتبر الأول من نوعه ، كما سجله كثير من الفلكيين في عدة بلاد . وسيساعد تحليل هذه المشاهدات على تصحيح معلوماتنا عن طبيعة الشهب .

وقد أرسلت جميع البيانات التي حصلت عليها أجهزة الصاروخ الى الأرض باللاسلكي ، وقد زود الصاروخ لهذا الغرض - وكذلك للمساعدة على تتبعه - بثلاثة أجهزة للإرسال ، كان أحدها يرسل اشارات تليفرافية طولها ٨ ر ، ١٦ من الثانية على التردد ١٩٩٩٧ و ١٩٩٩٥ ميغاسيكل/ثانية . وكان الآخر مخصصا لإرسال نتائج الدراسات العلمية ويرسل اشارات تليفرافية طولها متغير بين ٥ ر الى ٩ ر من الثانية على تردد قدره ١٩٩٩٣ ميغاسيكل . أما جهاز الإرسال الثالث فكان يحمل

على تردد قدره ١٨٣ر٦ ميغاسيكل وكان يستخدم في ارسال المعلومات العلمية وفي اعطاء البيانات لقياس مسار الصاروخ .

ولم تتم الأجهزة اللاسلكية بحساب ومراقبة برنامج رحلة سفينة الفضاء الأولى هذه وضمان نجاح اطلاقها فحسب ، بل أعطت أيضا بيانات في غاية الدقة عن طيران الصاروخ . وكانت البيانات ترسل أوتوماتيكيا الى الآلات الحاسبة الالكترونية التي كانت تحدد بسرعة ودقة عناصر مسار الصاروخ وتنبأ بمساره في المستقبل .

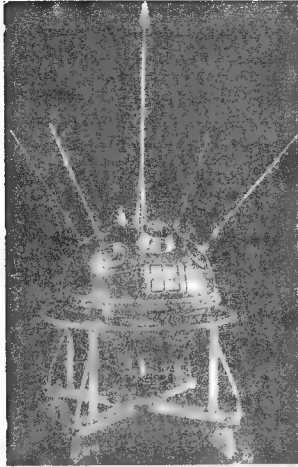
وقد بينت الأجهزة اللاسلكية انه بعد أن اندفع الصاروخ الى القمر بسرعة ابتدائية قدرها ١١ر٢ كيلو مترا في الثانية ، استمر في مساره الذي كان محددا له من قبل ، وتناقصت سرعته تدريجيا بفعل جذب الأرض . وفي الساعة ٥٩ : ٥ من يوم ٤ يناير ، مر الصاروخ بجوار القمر على بعد ٧٥٠٠ كيلو مترا من سطحه . وفي نفس الوقت كان الصاروخ على مسافة ٣٧٠٠٠ كيلو مترا من مركز الأرض بينما كانت سرعته نصف القطرية ٢ر٤٥ كيلو مترا في الثانية ، وقد قطع الصاروخ هذه المسافة في ٣٤ ساعة .

وقد استمر الاتصال اللاسلكي بالصاروخ لمدة ٦٢ ساعة وصل بعدها الى مسافة ٥٩٧٠٠٠ كيلو مترا . ولم تفقد المحطات اللاسلكية في الاتحاد السوفيتي الاتصال بالصاروخ الا عندما اختفى وراء الأفق نتيجة لدوران الأرض . وفي نفس الوقت ابتعد الصاروخ عن القمر واندفع في مدار كوكبي حول الشمس كأحد توابعها .

وسيدور هذا الكوكب الاصطناعي في مدار دائري تقريبا دورته ١٥ شهرا ، وبعد حوالي خمس سنوات سيعود الى الاقتراب من الأرض الى مسافة ١٠ مليون كيلو مترا تقريبا .

وتقريبا يكسب العالم مكاسب كثيرة من تحليل نتائج الدراسات التي قام بها الشعب السوفيتي بالقرب من القمر ، وحتى الآن لم تصل هناك بالطبع الا الأجهزة فقط .

وبعد تجارب الطيران الأولى هذه ، لا شك في أن سفن الفضاء السوفيتية ستصل الى المريخ والزهرة ، اذ ليس هناك ما يمنع الانسان من الوصول الى الأجرام السماوية ومن الإقامة فيها أيضا .



( شكل ٤٦ ) : الوعاء الذي يحتوي على المعدات العلمية ومعدات القياس بالمسابر  
( مركب على عربة ) .

ويعتبر التحكم عن بعد باللاسلكي والميكنة والاتصالات اللاسلكية من الضرورات المطلقة في الرحلات الفضائية في المستقبل ، وان العلم السوفيتي والهندسة لزودان بكل ما يلزم لحل أعقد المشاكل التي تواجه الانسان وأكثرها إرباها .

وبهذا نكون قد تكلمنا عن الانجازات الرئيسية التي قامت بها هندسة اللاسلكي وحالتها الحاضرة .

وقد كان الاتحاد السوفيتي مسقط رأس اللاسلكي ، كما ان الشعبية السوفيتي فخور بمواطنه الكبير مؤسس الراديو أ . س . بونوف .



ونتيجة لعمل الكثيرين من العلماء والمهندسين السوفيت ، تحتل بلادهم المركز القيادي في تطوير هندسة اللاسلكي النظرية والفيزياء اللاسلكية ، وكذلك في الاذاعة والاتصالات اللاسلكيين . كما شق العلماء السوفيت طرقا جديدة في ميادين الرادار والملاحة اللاسلكية ، وفي استخدام اللاسلكي في الصناعة ، وفي مجالات أخرى . ولا يتقصهم شيء ليتقدموا الى الامام لضمان مستوى عال من التطور للهندسة اللاسلكية والالكترونيات في الاتحاد السوفيتي . وهناك الكثير من الاكتشافات في هذه المجالات مازالت في الطريق .

تم الكتاب بحمد الله



## فهرس

الموضوع	رقم الصفحة
- الفصل الأول	
مقدمة	٥
- الفصل الثاني	
التلفزيون	٣٩
- الفصل الثالث	
البرادار	٦٧
- الفصل الرابع	
الفلك السيسى	١١٣
- الفصل الخامس	
التحليل الطيفى اللاسلكى	١٣١
- الفصل السادس	
الآلات الحاسبة الالكترونية	١٥١
- الفصل السابع	
الالكترونيات والصناعة والاقتصاد القومى	١٩٥
- الفصل الثامن	
أسسجاء الموصلات	٢١١
- الفصل التاسع	
الالكترونيات وغزو الفضاء	٢٥٥



مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب

رقم الايداع بدار الكتب ١٧١٩/١٩٨٦

ISBN ٩٧٧ - ٠١ - ٠٨٦٨ - ٥





مطبع المد العصرية الحديثة

١٥٠٠